БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

№3 2022

SAFETY OF TECHNOGENIC AND NATURAL SYSTEMS

n.3 2022

ISSN 2541-9129

DOI 10.23947/2541-9129

ДГТУ

Сетевой электронный теоретический и научно - практический журнал

Network Electronic Journal

https://btps.elpub.ru

Безопасность техногенных и природных систем

№ 3

Сетевой электронный журнал

Издаётся с 2017 г.

Выходит 4 раза в год
(февраль, май, август, ноябрь)
июнь 2022 г. – август 2022 г.

ISSN 2541-9129
DOI: 10.23947/2541-9129

Учредитель и издатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в котором должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК)

В журнале публикуются научные статьи по следующим направлениям:
1. Машиностроение.
2. Химические технологии, науки о материалах, металлургия.
3. Техносферная безопасность.

Индексируется и архивируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), CyberLeninka, ROAD, GoogleScholar.

Является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и CrossRef.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77 – 66531 от 21 июля 2016 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Над номером работали:
И. В. Бойко, Г. И. Рассохин, Д. С. Богатырева (англ. версия)

Адрес учредителя, издателя и редакции:
344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. +7 (863) 2-738-372
E-mail: spu-10.2.3@donstu.ru https://btps.elpub.ru/



СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В. А. Маштаков, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев, Т. А. Шавырина, Е. Ю. Удавцова Изучение динамики рисков гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы с использованием сглаживания временных рядов 4

Н. В. Матюшева, В. М. Худякова Совершенствование условий труда работников при переработке овощей открытого грунта за счет разработки устройства для подъема и опускания контейнеров в хранилище 12

З. Г. Фарахутдинова, Е. И. Бахонина, Н. В. Шутов Совершенствование механизма взаимодействия предприятий нефтеперерабатывающей промышленности с подрядными организациями 18

И. П. Карначев, А. А. Челтыбашев, С. Н. Судак Практическая реализация концепции культуры промышленной безопасности на примере крупнейших горных предприятий 24

С. А. Хлебунов, К. В. Хохлова Статистика пожаров как инструмент предотвращения чрезвычайных ситуаций 32

А. А. Порошин, В. Л. Здор, Н. В. Семененко, И. В. Волков Обстановка с пожарами и эффективность срабатывания систем пожарной сигнализации на объектах судоходства 37

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Н. Л. Вернези, В. А. Русаков О контроле прочности металла конструктивных элементов плавучих кранов 48

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

В. Н. Пустовойт, Ю. В. Долгачев, Ю. М. Домбровский Баллистическая стойкость стали со структурой естественного феррито-мартенситного композита 54

М. С. Егоров, В. Н. Пустовойт, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова Технология изготовления подшипников скольжения из железографитовых композиций 60

М. С. Егоров, Ю. М. Домбровский, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова Технологические способы борирования изделий из нержавеющих сплавов работающих в агрессивных условиях 68

М. С. Егоров, Е. В. Фоминов Газотермическое напыление покрытий на алюминиевые сплавы деталей комбайна 75

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 614.84
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-4-11

Изучение динамики рисков гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы с использованием сглаживания временных рядов

В. А. Маштаков, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев, Т. А. Шавырина, Е. Ю. Удавцова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский Ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России) (г. Балашиха, Российская Федерация)

Введение. Исследование динамики риска гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. показало, что нередко возникают сложности, связанные с неоднородностью данных, их значительными колебаниями в разные периоды времени и влиянием случайных факторов.

Постановка задачи. В настоящей работе для изучения риска гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы при исполнении служебных обязанностей использованы методы сглаживания временных рядов (метод скользящего среднего и метод экспоненциального сглаживания), что позволило снизить влияние случайных факторов.

Теоретическая часть. Для выявления тенденций изменения рисков гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы использован метод сглаживания временных рядов. Рассмотрены методы скользящего среднего и экспоненциального сглаживания. Показано распределение рисков травматизма и гибели личного состава при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг., определены среднегодовые уровни рисков травматизма и гибели за этот период, рассмотрена динамика соотношения количества случаев травматизма и гибели в указанные годы.

Выводы. Количество регистрируемых случаев травматизма сократилось вследствие совершенствования системы управления охраной труда. За период с 2006 по 2021 гг. произошло снижение в 4 раза риска травматизма личного состава. Существенно уменьшилось (более чем в три раза) соотношение количества травмированных и погибших — с 31,5 до 9,4. Помимо этого, в результате совершенствования системы управления охраной труда уменьшилось количество травм с тяжелым и средним ущербом за счет перехода их в категорию травм с легким ущербом.

Ключевые слова: временной ряд, скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание, травматизм, гибель, Федеральная противопожарная служба.

Для цитирования: Изучение динамики рисков гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы с использованием сглаживания временных рядов / В. А. Маштаков, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 4−11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-4-11

Original article

Study of Death and Injury Risks Dynamics of the Federal Fire-Fighting Service Personnel Using Time Series Smoothing

V. A. Mashtakov, A. A. Kondashov, E. V. Bobrinev, T. A. Shavyrina, E. Yu. Udavtsova

The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (FGBU VNIIPO EMERCOM of Russia) (Balashikha, Russian Federation)

Introduction. Studies of risks dynamics of death and injury of the Federal Fire-Fighting Service personnel in the performance of official duties for a long period (from 2006 to 2021) have shown that difficulties often arise due to the heterogeneity of data, their significant fluctuations in different periods of time and the influence of random factors.

Problem Statement. In this paper, to study the risks of death and injury of personnel of the Federal Fire-Fighting Service of the State Fire Service in the performance of official duties, time series smoothing methods (the moving average method and the exponential smoothing method) were used, which made it possible to eliminate abnormal observations and reduce the influence of random factors.

Theoretical Part. To identify trends in the risks of death and injury of personnel of the Federal Fire-Fighting Service of the State Fire Service in the performance of official duties, the method of time series smoothing was used. The methods of moving average and exponential smoothing are considered. The distribution of the risks of injury and death of the personnel of the Federal Fire-Fighting Service of the State Fire Service in the performance of official duties for the period 2006-2021 is shown, the average annual levels of injury and death risks for this period are determined, the dynamics of the ratio of the number of cases of injury and death in these years is considered.

Conclusions. The number of registered cases of injuries has decreased due to the improvement of the occupational safety management system. During the period from 2006 to 2021, there was a reduction in the risk of injury to personnel by 4 times. The ratio of the number of injured and dead has significantly decreased (by more than three times) — from 31.5 to 9.4. In addition, as a result of occupational safety management system improvement, the number of injuries with severe and moderate damage has decreased due to their transition to the category of injuries with light damage.

Keywords: time series, moving average, exponential smoothing, injuries, death, Federal Fire-Fighting Service.

For citation: Mashtakov V. A., Kondashov A. A., Bobrinev E. V., Shavyrina T. A., Udavtsova E. Yu. Study of Death and Injury Risks Dynamics of the Federal Fire-Fighting Service Personnel Using Time Series Smoothing. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no. 3, pp. 4−11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-4-11

Введение. При изучении различных показателей, характеризующих деятельность подразделений пожарной охраны, нередко возникают сложности, связанные с неоднородностью данных, их значительными колебаниями в разные периоды времени [1]. Распределение показателей на временной шкале можно рассматривать как временной ряд [2]. Важнейшей задачей при исследовании временных рядов является выявление и статистическая оценка основной тенденции развития изучаемого процесса и отклонений от нее.

При изучении временных рядов выделяют систематическую и случайную составляющую. Систематическая составляющая является результатом воздействия постоянно действующих факторов. Примером систематической составляющей временного ряда является тренд, который можно охарактеризовать как плавно меняющуюся компоненту, описывающую чистое влияние долговременных факторов, т. е. длительную тенденцию изменения признака.

Случайная компонента отражает влияние случайных факторов и может рассматриваться как случайный шум или ошибка, воздействующая на временной ряд нерегулярно.

Одним из наиболее распространенных методов исследования временных рядов является сглаживание [3], которое заключается в замене фактических значений на расчетные, которые характеризуются меньшей вариабельностью. Сглаживание применяют в тех случаях, когда тренд проявляется недостаточно

отчетливо. Для сглаженного временного ряда тенденция, как правило, проявляется более четко. Сглаживание временных рядов используется также для устранения аномальных наблюдений.

Среди наиболее распространенных методов сглаживания временных рядов можно выделить метод скользящего среднего и метод экспоненциального сглаживания.

Метод скользящего среднего [4] состоит в замене фактических значений временного ряда на средние значения по группе данных за определенный период, причем каждая последующая группа образуется путем сдвига на одну единицу времени. В представленном исследовании в качестве единицы времени используется год.

Для вычисления скользящего среднего используется формула:

$$\widetilde{w}_i = \frac{1}{3}(w_{i-2} + w_{i-1} + w_i)\,, \quad (1)$$

где w_i — исходное значение временного ряда в i-ом году. Недостатком данного метода является исключение из процедуры сглаживания двух первых значений временного ряда.

Этого недостатка лишен метод экспоненциального сглаживания [5], при котором в процедуре сглаживания используются взвешенные значения ряда в предыдущие годы, причем вес уменьшается по мере удаления от того года, для которого определяется сглаживаемое значение. Для вычисления сглаженного значения методом экспоненциального сглаживания используется формула:

$$\widetilde{w}_i = \begin{cases} w_i, & i = 1 \\ \widetilde{w}_{i-1} + \alpha(w_i - \widetilde{w}_{i-1}), & i > 1 \end{cases}, \quad (2)$$

где α — коэффициент сглаживания. В представленном исследовании он выбран равным 0,5.

Постановка задачи. Цель исследования состояла в изучении влияния совершенствования системы управления охраной труда (СУОТ) на снижение рисков гибели и травматизма личного состава ФПС ГПС (ФПС ГПС) при исполнении служебных обязанностей. В данной работе с использованием методов сглаживания временных рядов проведено изучение рисков гибели и травматизма личного состава при исполнении служебных обязанностей. Показатели гибели и травматизма личного состава ФПС ГПС за 2006–2021 гг. получены из банка статистических данных по заболеваемости, травматизму, инвалидности и гибели личного состава подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей [6].

Теоретическая часть. Риск гибели определяется по следующей формуле:

$$R_{\text{гиб}} = \frac{N_{\text{гиб}}}{N_{\text{л.с.}}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{гиб}}$ — количество погибшего личного состава при исполнении служебных обязанностей за год, чел., $N_{\text{л.с.}}$ — среднегодовая численность личного состава, чел.

Риск травматизма определяется по формуле:

$$R_{\text{трав}} = \frac{N_{\text{трав}}}{N_{\text{л.с.}}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{трав}}$ — количество травмированного личного состава при исполнении служебных обязанностей за год, чел.

На рис. 1 показано распределение риска травматизма личного состава ФПС ГПС при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг.

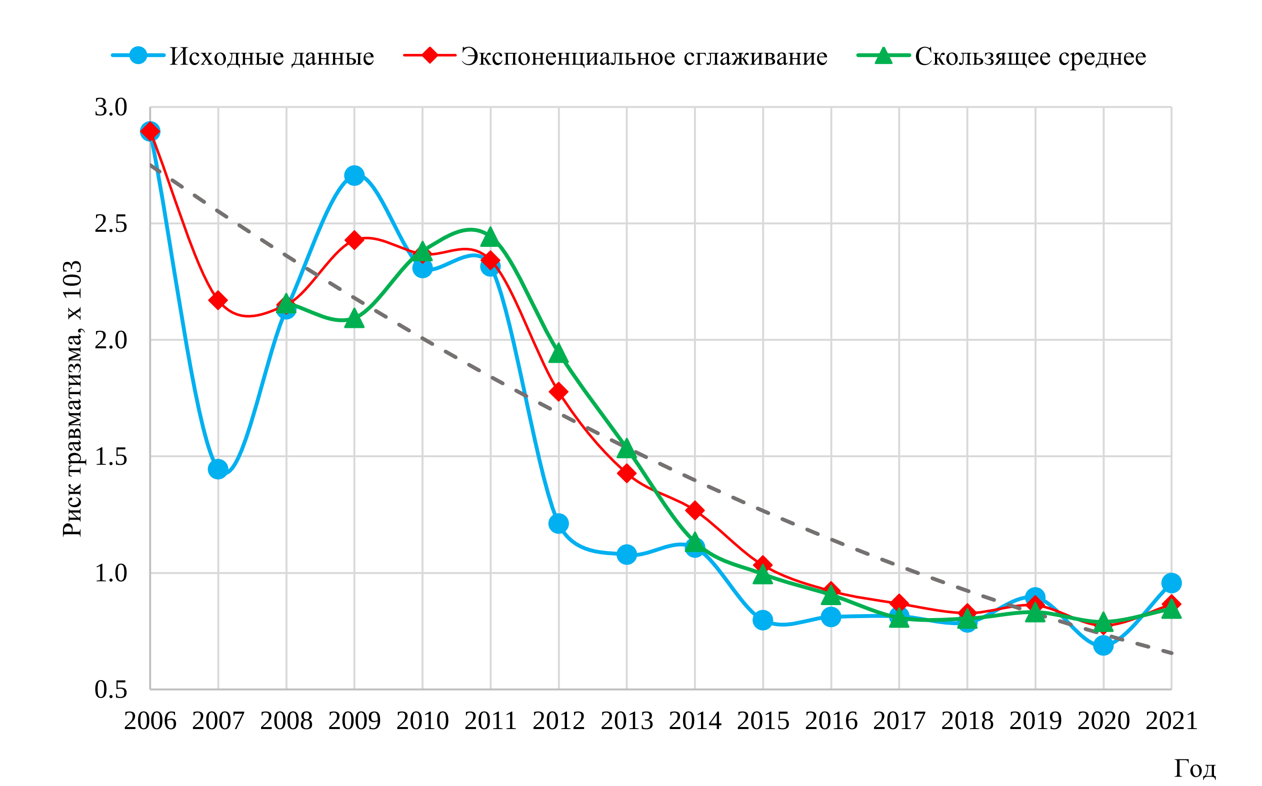


Рис. 1. Риск травматизма личного состава ФПС ГПС при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. Штриховая кривая — аппроксимация методом наименьших квадратов

Среднегодовой уровень риска травматизма равен $1{,}43\times10^{-3}$. В период с 2006 по 2011 гг. риск травматизма личного состава ФПС ГПС существенно изменяется от года к году. Среднегодовой уровень риска травматизма за этот период составляет $2{,}30\times10^{-3}$. В период с 2011 по 2015 гг. наблюдается резкое снижение уровня травматизма. В последующие годы риск травматизма остается примерно на одном уровне — в среднем $0{,}82\times10^{-3}$.

Было выполнено сглаживание распределения риска травматизма методом скользящего среднего (показано на рис. 1 зеленым цветом). Как видно из рисунка, сглаженное распределение в отдельных точках достаточно сильно отличается от исходного распределения (например, в 2009, 2012 и 2013 гг.). Распределение, полученное методом экспоненциального сглаживания (показано на рисунке красным цветом), более точно воспроизводит исходное распределение. Поэтому в дальнейшем использовался именно этот метод сглаживания.

Проведена аппроксимация сглаженного распределения методом наименьших квадратов [7] с использованием полиномиальной функции 2-го порядка. Риск травматизма описывается функцией:

$$R_{\text{трав}} = (0{,}0042x^2 - 0{,}211x + 2{,}962\,) \times 10^{-3}, \tag{5}$$

где x — порядковый номер года ($x = 1$ соответствует 2006 году), коэффициент детерминации R^2=0,86. Как следует из зависимости (5), с 2006 по 2021 гг. произошло снижение риска травматизма в 4,2 раза — с $2{,}75\times10^{-3}$ до $0{,}66\times10^{-3}$.

Распределение риска гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. показано на рис. 2.

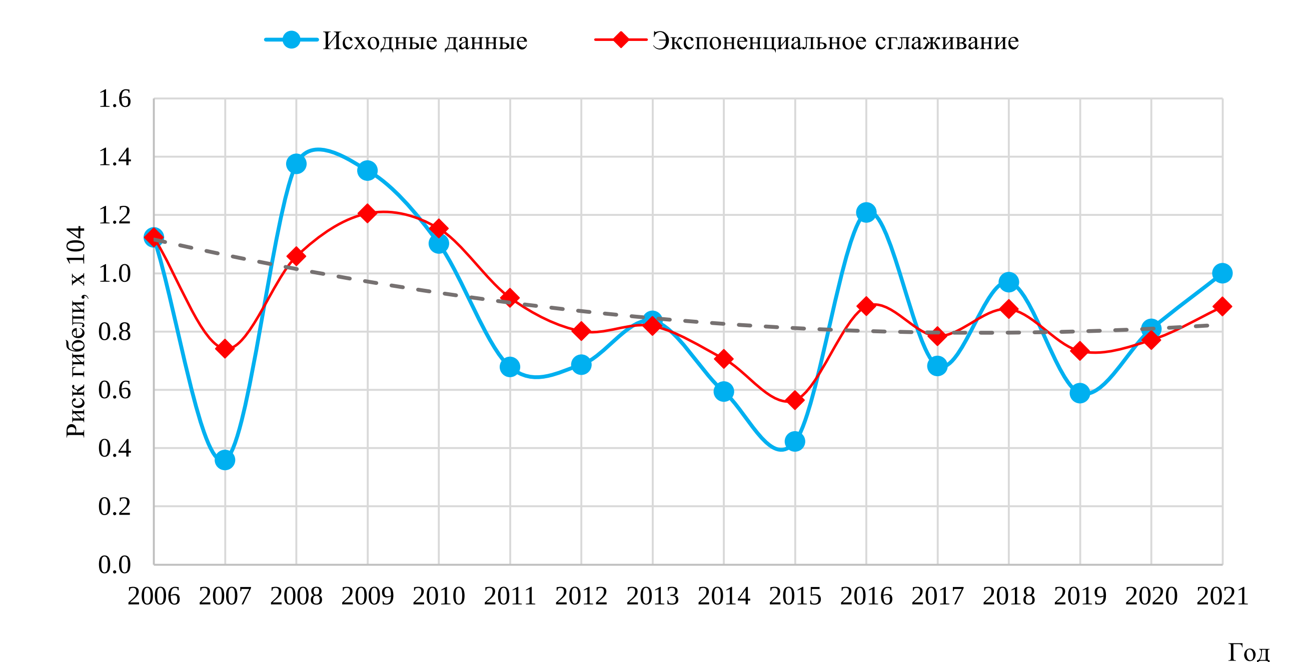


Рис. 2. Риск гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении
служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг.
Штриховая кривая — аппроксимация методом наименьших квадратов

Среднегодовой уровень риска гибели равен $0{,}86\times10^{-4}$. Риск гибели был максимальным в 2008 и 2009 годах, когда его значение достигало $1{,}38\times10^{-4}$. Затем произошло снижение риска гибели до $0{,}42\times10^{-4}$ в 2015 году. В последующие годы риск гибели вырос и достиг значений от $0{,}6\times10^{-4}$ до $1{,}2\times10^{-4}$.

Как видно из рис. 2, распределение риска гибели имеет существенную случайную компоненту, что приводит к значительным колебаниям его величины в разные годы. Для снижения влияния случайных факторов и выделения преобладающей тенденции было выполнено экспоненциальное сглаживание (показано на рис. 2 красным цветом). Сглаженное распределение описывается полиномиальной функцией 2-го порядка, полученной путем аппроксимации методом наименьших квадратов:

$$R_{\text{гиб}} = (0{,}0024x^2 - 0{,}046x + 1{,}015) \times 10^{-4}. \quad (6)$$

Коэффициент детерминации R^2=0,34. В соответствие с зависимостью (6), за период с 2006 по 2021 гг. риск гибели снизился на 24% с $1{,}12\times10^{-4}$ до $0{,}82\times10^{-4}$.

В международной и отечественной практике по изучению производственного травматизма используется понятие «пирамида несчастных случаев», когда на 1 случай травм с тяжелым ущербом приходится около 10 случаев травм со средним ущербом и 100 случаев травм с легким ущербом [8, 9]. Анализ случаев травматизма личного состава ФПС ГПС при выполнении служебных обязанностей показал [10], что в среднем на 1 случай травматизма с легким ущербом приходится 8 случаев травм со средним ущербом и 10 случаев травм с тяжелым ущербом. Такое соотношение может быть объяснено тем, что пострадавшие в основном уходят на больничный при получении средних и тяжелых травм. Поэтому легкий травматизм практически не регистрируется.

В связи с этим представляет интерес соотношение количества случаев травматизма и гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей:

$$D = \frac{N_{\text{трав}}}{N_{\text{гиб}}}. \quad (7)$$

На рис. 3 показана динамика данного соотношения за период с 2006 по 2021 гг. Красным цветом показано распределение, полученное в результате экспоненциального сглаживания. Сглаженное распределение аппроксимируется полиномиальной функцией 2-го порядка:

$$D = 0{,}038x^2 - 1{,}89x + 27{,}57. \quad (8)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}85$.

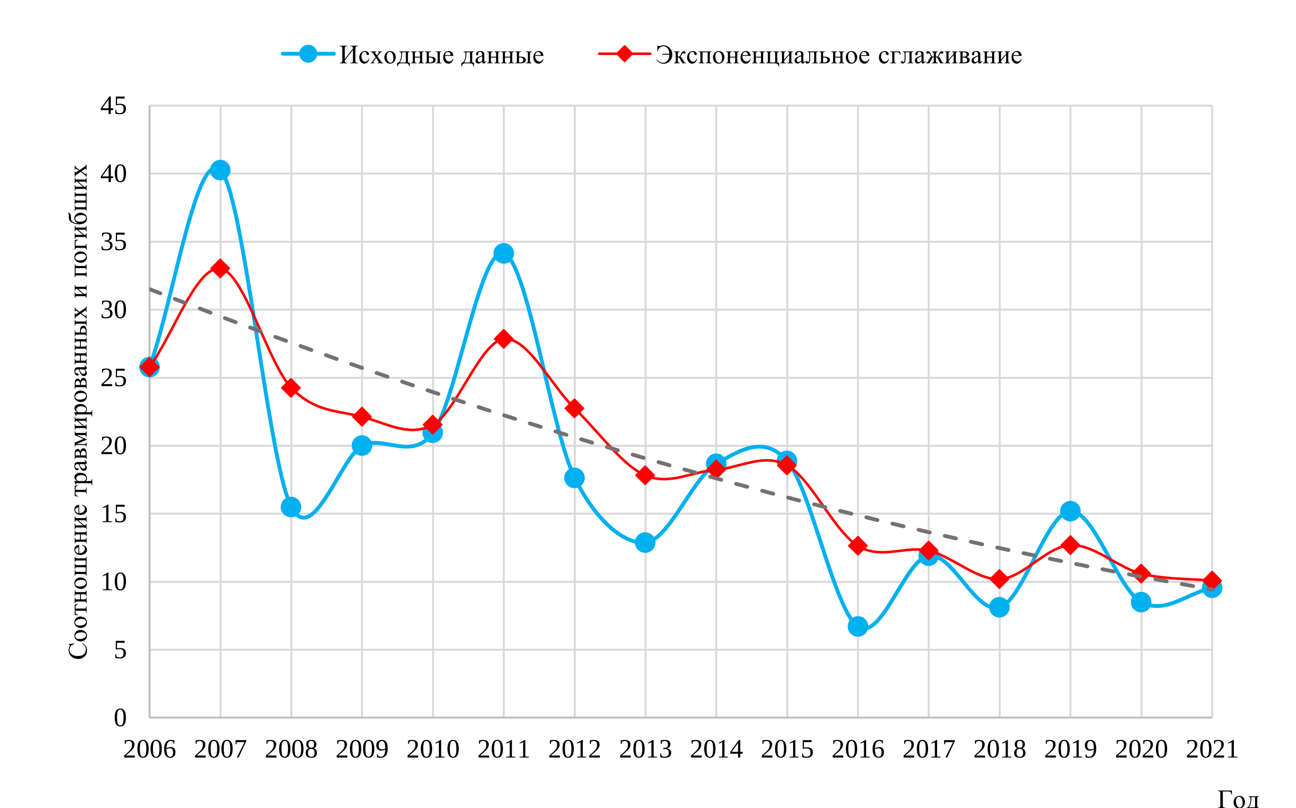


Рис. 3. Соотношение травмированного и погибшего при исполнении служебных обязанностей личного состава ФПС ГПС за период с 2006 по 2021 гг. Штриховая кривая — аппроксимация методом наименьших квадратов

За период с 2006 по 2021 гг. соотношение травмированных и погибших уменьшилось в 3,3 раза — с 31,5 до 9,4. Такое снижение может быть объяснено тем, что в результате совершенствования системы управления охраной труда, а именно, принятия нормативных правовых актов, в числе которых приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 13.12.2014 № 1100Н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы»[1], уменьшилось количество травм с тяжелым и средним ущербом (травмы с легким ущербом без временной утраты работоспособности не всегда фиксируются), в результате чего количество регистрируемых случаев травматизма сократилось.

Выводы. За период с 2006 по 2021 гг. соотношение травмированных и погибших уменьшилось в 3,3 раза — с 31,5 до 9,4. Такое снижение может быть объяснено тем, что в результате совершенствования системы управления охраной труда снизился риск травмирования с тяжелым и средним ущербом для здоровья. Не исключено, что этот риск уменьшился не до нулевого значения ущерба, а до уровня травмирования с легким ущербом.

Таким образом, проведено изучение рисков гибели и травматизма личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. Для выявления тенденций изменения наблюдаемых зависимостей использован метод экспоненциального сглаживания. В 2006–2021 гг. среднее значение риска травматизма личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей составило $1{,}43\times10^{-3}$. За рассматриваемый период риск травматизма уменьшился в четыре с лишним раза. Для риска гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей характерны значительные колебания от года к году, среднее значение риска гибели за рассматриваемый период составило $0{,}86\times10^{-4}$. Соотношение количества травмированного и погибшего личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей уменьшилось более, чем в три раза, что можно объяснить уменьшением количества средних и тяжелых травм в результате совершенствования системы управления охраной труда.

Для дальнейшей оптимизации СУОТ необходимо:

– осуществление постоянного контроля должностными лицами по охране труда в процессе исполнения личным составом служебных обязанностей инструкций по охране труда;

[1] Документ утратил силу в связи с вступлением в силу Приказа Министерства труда и социальной защиты РФ от 11.12.2020 № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны»; применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников (ст.3 Федерального закона от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»).

– организация среди личного состава в системе служебной подготовки занятий по охране труда;

– регулярный мониторинг состояния травматизма и гибели личного состава при исполнении служебных обязанностей.

Библиографический список

1. Алексанин, С. С. Показатели профессионального травматизма и смертности у сотрудников Государственной противопожарной службы России (1996–2015 гг.) / С. С. Алексанин, Е. В. Бобринев, В. И. Евдокимов // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2018. — № 3. — С. 5–25. https://doi.org/10.25016/2541-7487-2018-0-3-05-25

2. Кендэл, М. Временные ряды / М. Кендэл. — Москва : Финансы и статистика, 2015. — 200 с.

3. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. — Москва : Финансы и статистика, Инфра-М, 2015. — 320 с.

4. What are Moving Average or Smoothing Techniques? / NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods // nist.gov : [сайт]. — URL: https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc42.htm (дата обращения : 16.03.2022).

5. Single Exponential Smoothing / NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods // nist.gov : [сайт]. — URL: https://www.itl.nist.gov/div898/20handbook/pmc/section4/pmc431.htm (дата обращения : 16.03.2022).

6. Банк статистических данных по заболеваемости, травматизму, инвалидности и гибели личного состава подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей : св-во о гос. регистрации базы данных 2015621061 Рос. Федерация / А. А. Порошин, В. В. Харин, Е. В. Бобринев [и др.] ; ФГБУ ВНИИПО МЧС России. — № 2015620391 ; заявл. 17.04.2015 ; опубл. 13.07.2015.

7. Мазуров, Б. Т. Метод наименьших квадратов (статика, динамика, модели с уточняемой структурой) / Б. Т. Мазуров, В. А. Падве // Вестник СГУГИТ. — 2017. — Т. 22, № 2. — С. 22–35.

8. Карначев, П. И. Статистические показатели производственного травматизма, используемые в отечественной и международной практике оценки уровня безопасности труда / П. И. Карначев, Н. А. Винниченко, И. П. Карначев // Безопасность и охрана труда. — 2015. — № 2 (63). — С. 37–40.

9. Ворошилов, С. П. Травматизм. Функция распределения степени тяжести вреда здоровью среди работников / С. П. Ворошилов, А. С. Ворошилов // Безопасность и охрана труда. — 2014. — № 3 (60). — С. 55–59.

10. Кондашов, А. А. Оценка допустимого риска травмирования личного состава Федеральной противопожарной службы МЧС России / А. А. Кондашов, Е. Ю. Удавцова, В. А. Маштаков // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2021. — № 1. — С. 40–49. https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-40-49

Поступила в редакцию 20.04.2022
Поступила после рецензирования 26.05.2022
Принята к публикации 26.05.2022

Об авторах:

Маштаков Владислав Александрович, заместитель начальника отдела 1.3 — начальник сектора 1.3.1 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), ORCID, otdel_1_3@mail.ru

Кондашов Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат физико-математических наук, ORCID, akond2008@mail.ru

Бобринев Евгений Васильевич, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат биологических наук, ORCID, otdel_1_3@mail.ru

Шавырина Татьяна Александровна, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат технических наук, ORCID, shavyrina@list.ru

Удавцова Елена Юрьевна, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат технических наук, ORCID, otdel_1_3@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. А. Маштаков — анализ результатов исследования, доработка текста, корректировка выводов; А. А. Кондашов — формирование основной идеи и концепции исследования, разработка цели и задач исследования, проведение расчетов, анализ и интерпретация данных, участие в написании текста рукописи, формулирование выводов; Е. В. Бобринев — научное руководство, обзор публикаций по теме статьи, участие в сборе и обработке материала, анализ результатов исследования, участие в написании текста рукописи; Т. А. Шавырина — участие в написании текста рукописи, редактирование текста, оформление окончательного варианта статьи; Е. Ю. Удавцова — разработка дизайна исследования, подготовка литературы, участие в сборе и обработке материала, участие в написании текста рукописи.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 629.065
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-12-17

Совершенствование условий труда работников при переработке овощей открытого грунта за счет разработки устройства для подъема и опускания контейнеров в хранилище

Н. В. Матюшева, **В. М. Худякова**
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (г. Пушкин, Российская Федерация)

Введение. Производство выращивания овощей — это одна из отраслей растениеводства, которая отличается спецификой ведения технологических процессов, характеризуется конструкционным разнообразием культивационных сооружений и особыми условиями труда. В настоящее время острой проблемой является травматизм работников на рабочих местах. При этом организм работающих подвергается воздействию комплекса неблагоприятных производственных факторов: минеральных удобрений, пестицидов и продуктов их метаболизма — нагревающего микроклимата, повышенной влажности, значительных физических нагрузок. При соблюдении агротехнических приемов они не могут быть источником ухудшения состояния здоровья. Однако нарушение санитарно-гигиенических регламентов и технологических схем выращивания сельскохозяйственных культур увеличивает степень риска ухудшения здоровья и сказывается на трудоспособности.

Постановка задачи. Задачей для исследования стала разработка упрощенной конструкции, предназначенной для опускания овощей в хранилище, улучшения условий и безопасности труда работников.

Теоретическая часть. Совершенствования охраны труда в сельском хозяйстве необходимо прежде всего с позиций сохранения и назначения системы как механизма защиты интересов работающих, гарантии сохранения их жизни, здоровья, трудоспособности в процессе профессиональной деятельности, а также с целью эффективности сельскохозяйственного производства. Актуальной является проблема безопасности при закладке овощей в контейнерах. Основным видом травмирования работающих являются работы по устранению технических и технологических отказов.

Выводы. В результате проделанных исследований, анализа рынка и оценки конкурентоспособности рассматриваемой разработки определены основные отличительные особенности предлагаемого устройстве от существующих. Данная разработка может быть рекомендована к дальнейшей интеграции в существующую систему предприятия, а также к использованию на любых сельскохозяйственных предприятиях.

Ключевые слова: условия труда, безопасность труда, технология, овощехранилище, контейнеры, подъемник, тележка, пандус, опрокидывание.

Для цитирования: Матюшева, Н. В. Совершенствование условий труда работников при переработке овощей открытого грунта за счет разработки устройства для подъема и опускания контейнеров в хранилище / Н. В. Матюшева, В. М. Худякова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 12–17. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-12-17

Original article

Improvement of Employees' Working Conditions When Processing Vegetables in Open Ground by the Designing Device for Lifting and Lowering Containers in the Storage

N. V. Matyusheva, V. M. Khudyakova
Saint Petersburg State Agrarian University (Pushkin, Russian Federation)

Introduction. Vegetable production is one of the branches of plant cultivation that is distinguished by the specifics of conducting technological processes, characterized by the structural variety of cultivation facilities and special working conditions. Injuries of employees are the serious problem in the workplace now. The body of a worker is exposed to a complex of unfavorable production factors: mineral fertilizers, pesticides and products of their metabolism: heating microclimate, high humidity, significant physical exertion. If agrotechnical techniques are followed, they cannot be a source of deterioration of health. Violation of sanitary and hygienic regulations and technological schemes for growing crops increases the risk of health problems and affects the ability to work.
Problem Statement. The task for the study is to develop a simplified design to lower vegetables into storage, improve working conditions and safety of workers.
Theoretical Part. Occupational safety improvement in agriculture is necessary, first of all, from the point of the preservation and purpose of the system as a mechanism for protecting the interests of workers, guaranteeing the preservation of their life, health, working capacity in the process of professional activity, as well as for the purpose of agricultural production efficiency. There is an urgent problem of safety when laying vegetables in containers. The main type of injury to workers is occurred during work for eliminating technical and technological failures.
Conclusions. As a result of the research, market analysis and evaluation of the competitiveness of the development under consideration, the main distinguishing features of the proposed device from the existing ones are determined. This design can be recommended for further integration into the existing enterprise system, as well as for use in any agricultural enterprises.

Keywords: working conditions, labor safety, technology, vegetable storehouse, containers, lift, trolley, ramp, overturning.

For citation: Matyusheva N. V., Khudyakova V. M. Improvement of Employees' Working Conditions When Processing Vegetables in Open Ground by the Designing Device for Lifting and Lowering Containers in the Storage. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 12−17. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-12-17

Введение. Стратегия развития Российской Федерации направлена на развитие агропромышленного комплекса, что предусматривает устойчивый рост сельскохозяйственного производства и влечет за собой повышение производительности труда, ускорение научно-технического прогресса. В результате увеличивается роль человеческого фактора при определённых условиях труда, связанных с производством и реализацией сельскохозяйственной продукции [1, 2].

За годы реформ было утеряно около половины основных фондов АПК, устарело и пришло в негодность большое количество техники и оборудования [3]. Неслучайно поэтому каждая третья травма с временной потерей трудоспособности и каждая четвертая с летальным исходом, происшедшая в народном хозяйстве страны, приходится на агропромышленный комплекс (АПК) России [4]. Важен и тот факт, что при общем снижении объемов производства травматизм и заболеваемость в отрасли существенно не снижаются: за последние десять лет число пострадавших с летальным исходом в сельском строительстве составило около 9 % от числа пострадавших во всех отраслях АПК, растениеводства — 23,2 %, ремонта и технического обслуживания машин — 18,1 %, животноводства — 16,2 % и пищевого производства — 9,9 % [5–8].

Совершенствование охраны труда в сельском хозяйстве является одним из приоритетных направлений. Необходимо прежде всего совершенствовать безопасность труда на уровне системы развития сельскохозяйственной отрасли, уходить от устаревшего оборудования, модернизировать человеческий труд, заменяя ручной труд механическим, внедрять принципы цифровизации, просчитывать риски и возможное негативное развитие событий.

Проблема обеспечения безопасности работников при использовании сельскохозяйственной техники остается актуальной на сегодняшний день, так как источниками травмирования в 74 % случаев с летальным исходом являются машины и механизмы.

В результате экспериментальных исследований при уборке картофеля в различных хозяйствах в период с 2010 по 2020 гг. были выявлены наиболее опасные и вредные производственные факторы, воздействующие на работников.

Основным видом травмирования работников являются работы по устранению технических и технологических отказов, на что приходится около 27 % от полного времени эксплуатации. По данным источника [8] была составлена диаграмма, отражающая время устранения неисправностей (рис. 1):

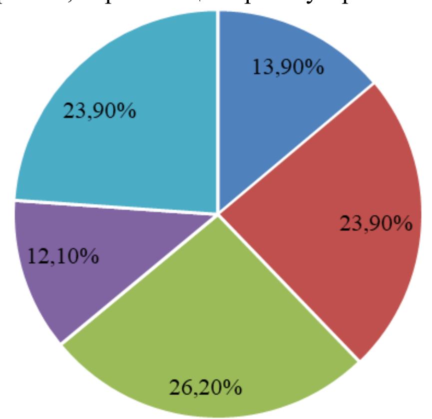


Рис. 1. Основные причины травмирования работников

Опасным с точки зрения безопасности и охраны труда остается процесс закладки овощей в хранилище (рис. 2). Технология осталась неизменной еще с 90-х годов. Сначала картофель высыпается в бункер, откуда он транспортируется и перебирается, затем по окончанию работ закладывается в контейнеры.



Рис. 2. Процесс закладки картофеля в хранилище

После этого с помощью погрузчиков контейнеры с картофелем завозят в хранилище и выставляют в виде столбиков. Недостатком данной технологии является то, что не во все хранилища имеется возможность заезда погрузчиков. Часть хранилищ крупных сельскохозяйственных концернов заглублены в землю на 1–1,5 метра и для заезда специально обустроены пандусы. Однако передвижение по пандусам невозможно по причине опасности опрокидывания машины вместе с контейнером [9, 10].

Постановка задачи. Задача исследования — предложить разработанную, упрощенную конструкцию, предназначенную для опускания овощей в хранилище, что позволит улучшить условия и безопасность труда работников.

Теоретическая часть. Обоснованием для разработки устройства для подъема и опускания контейнеров в хранилище при переработке овощей открытого грунта послужило изучение нормативных требований по организации данного вида работ на территориях сельскохозяйственных комплексов. Проведя критический анализ существующих решений по данной проблеме, были выявлены ряд недостатков.

Подъемники могут устанавливаться как снаружи здания, так и внутри временно и на постоянной основе. Множество вариантов поднимаемого груза, разные высотные задачи, условия работы породили отличия в конструкционных особенностях подъемников: различные грузовые открытые и закрытые площадки, двери распашные или рольставни, один пульт управления или на каждом этаже, различные виды безопасности и блокировок, тип привода подъемника и т.д. Конструкция подъемника зависит от грузовой нормы, места установки и назначения. Этот вид подъемников способен поднимать груз на высоту до 50 м. Установка грузового подъёмника производится снаружи или внутри здания.

Для монтажа подъёмника возможно использование существующих лифтовых шахт здания. У каждой модели подъёмника предусмотрено верхнее и нижнее расположение привода. Основными техническими характеристиками грузового подъемника являются его грузоподъемность от 50 до 6300 кг, высота подъёма от 7500 мм до 36 метров.

Строительный подъемник с одной кабиной SC 100 характеризуется простотой ухода и эксплуатации. Кабина оснащена ограничителем скорости для остановки оборудования, когда скорость опускания достигает 12 м/сек. Подъемник оснащен системой защиты от перегрузки, которая отключает питание при превышении допустимой грузоподъемности. Данное оборудование способно заметно повысить уровень безопасности производства в силу стабильности и ровности работы [11].

Основными составными частями строительного подъемника с двумя кабинами SC 200/200 являются кабины, операторская кабина, механизм трансмиссии, ограничитель скорости, рама роликовых направляющих, соединители, нижняя кабина, мачта, электрическая система, система обеспечения безопасности.

Подъёмник для контейнеров с ручным механическим (лебёдочным) приводом «БАМБУЛА 252-16-4» со стальной рамой предназначен для подъёма и перемещения корзин/контейнеров. Рассмотренные устройства не позволяют быть использованными при опускании и подъеме грузов на территории овощехранилища. Наиболее подходящим в данном случае являются наклонные подъемники.

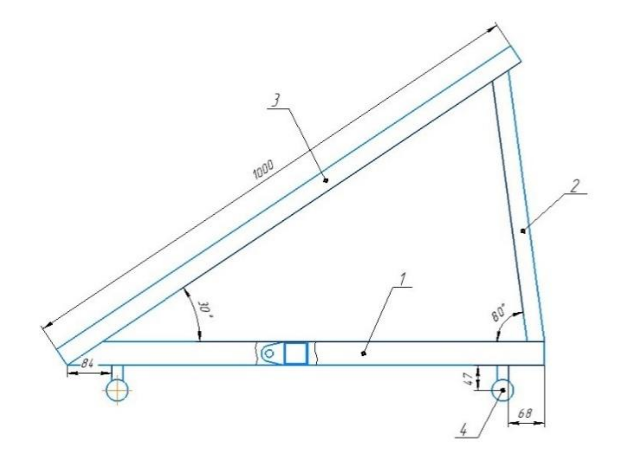
Преимущества наклонных подъёмных платформ:

– доступны в трех различных вариантах;

– установка подъемника не требует никаких строительных работ и не портит дизайн помещений;

– имеет дистанционное управление, активные и пассивные устройства безопасности, выдвигающиеся барьеры безопасности, что сокращает занимаемое пространство, когда оборудование не используется.

Разработанный наклонный подъемник состоит из мачты прямоугольного сечения, расположенной под определённым углом к земле (рис. 3). По одной из сторон мачты перемещается грузовая платформа (кабина) под действием электропривода, который может устанавливаться вверху, внизу или сбоку на мачте (рис. 4). Подъемник устанавливается на несущем основании, которое выполняется плоским или в виде приямка. Управление осуществляется с помощью кнопочных постов управления с любой остановки. По желанию возможна поставка подъёмника с ограждениями для каждого этажа.



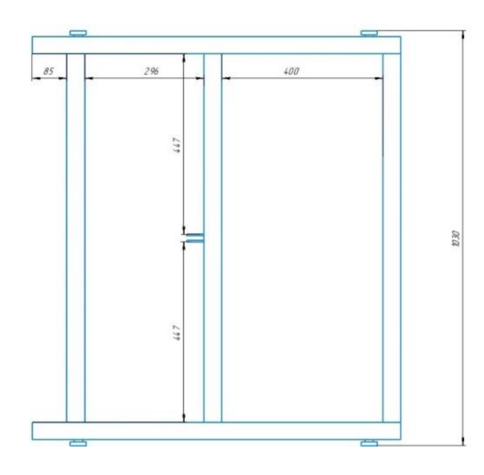


Рис. 3. Общий вид разрабатываемого наклонного подъемника

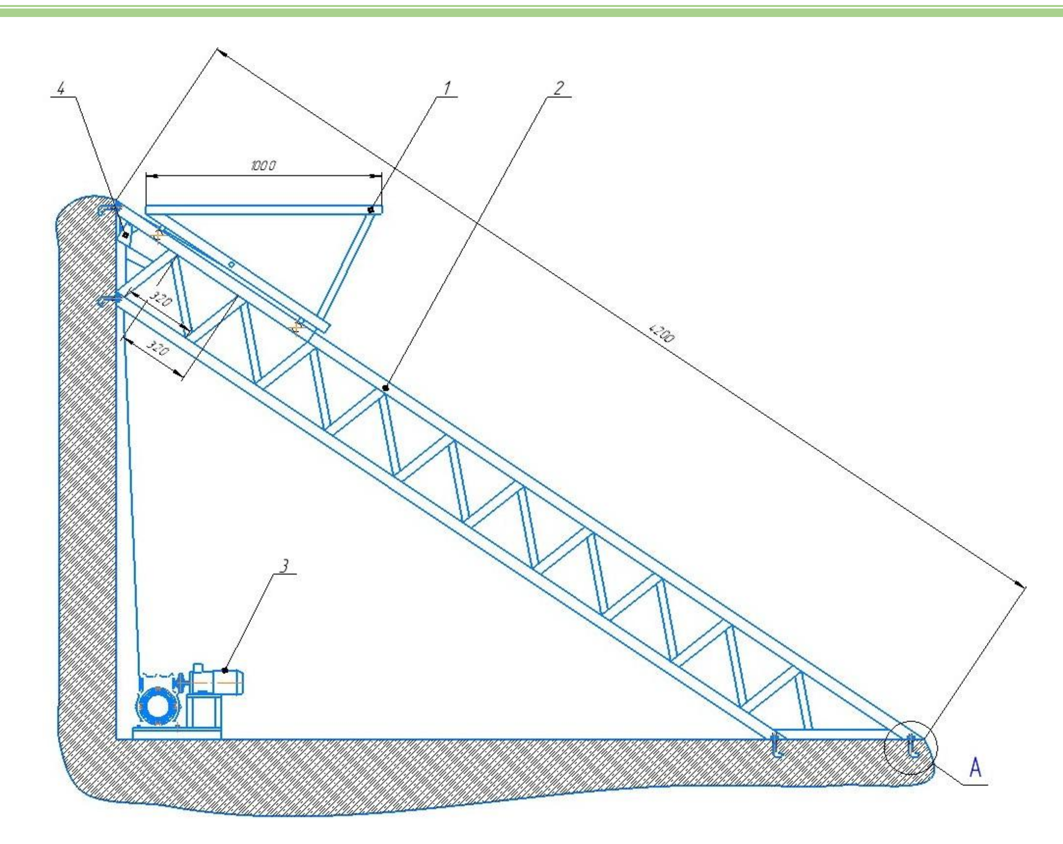


Рис. 4. Общий вид разрабатываемого наклонного подъемника:
1 — тележка, 2 — подъемник, 3 — двигатель

Управление осуществляется с помощью кнопочного поста управления (КПУ), которые располагаются на мачте или вблизи от неё. Отправка и вызов грузовой клети осуществляется с помощью КПУ с любого этажа на любой этаж. КПУ оснащаются световой индикацией, позволяющей определить местонахождение клети (рис. 5).

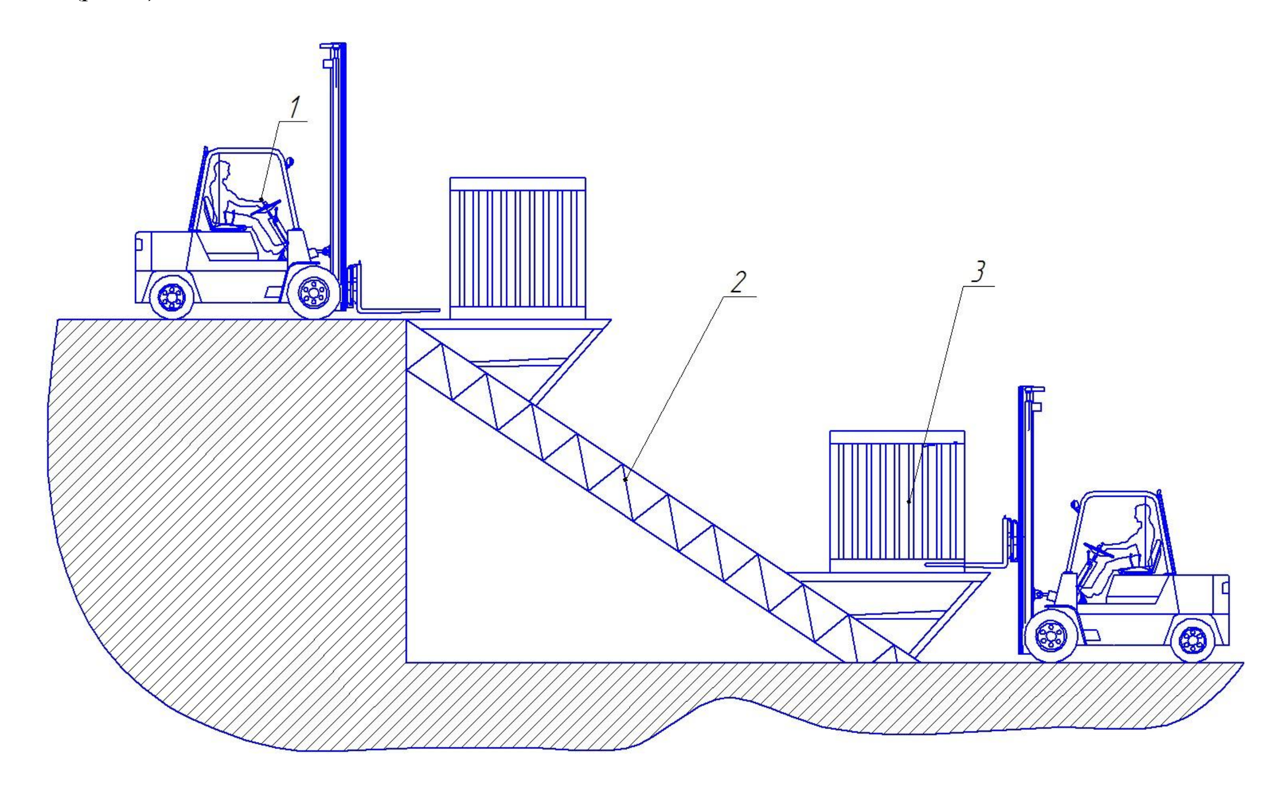


Рис. 5. Общий вид производства работ при помощи наклонного подъемника для контейнеров:
1 — погрузчик, 2 — подъемник, 3 — контейнер

При проектировании наклонного подъемника были проведены конструктивные расчеты, применялась методика расчета наклонных подъемников, была определена его производительность, грузоподъемность,

требуемая мощность, скорость движения грузоподъемной платформы и допускаемые углы наклона мачты. Внедрение конструкции позволит решить проблему улучшения условий туда, сократит количество травм и несчастных случаев.

Выводы. Разработан и рекомендован к внедрению наклонный подъемник для контейнеров, позволяющий более безопасно и эффективно выполнять данные работы с учетом особенностей отрасли и специфичности производства работ. Данная разработка может быть рекомендована к использованию в любых сельскохозяйственных предприятиях, осуществляющих подобные виды работ.

Библиографический список

1. Keijiro Otsukaa Strategy for the development of agro-based clusters / Keijiro Otsukaa, Mubarik Alic // World Development Perspectives. — 2020. — Vol. 20. — P. 100257. https://doi.org/10.1016/j.wdp.2020.100257

2. Effects of land use transitions and rural aging on agricultural production in China's farming area: A perspective from changing labor employing quantity in the planting industry / Liuwen Liao, Hualou Long, Xiaolu Gao, Enpu Ma // Land Use Policy. — 2019. — Vol. 88. — P. 104152. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104152

3. Ito, J. Distributional effects of agricultural cooperatives in China: Exclusion of smallholders and potential gains in participation / J. Ito, Z. Bao, Q. Su // Food Policy. — 2012. — Vol. 37 (6). — P. 700–709. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.07.009

4. Социально-экономическое положение Санкт-Петербурга в январе–декабре 2021 года (экономический доклад в таблицах) // petrostat.gks.ru : [сайт]. — URL: https://petrostat.gks.ru/storage/mediabank/D1221_00.pdf (дата обращения : 13.12.2021).

5. Hitoshi Araki Mechanisms of sustaining agriculture and the aging of rural communities in Takamiya-cho, Hiroshima Prefecture / Hitoshi Araki // Geographical Review of Japan. — 2002. — Vol. 75, Iss. 5. — P. 262–279. https://doi.org/10.4157/grj.75.262

6. Farmland transition and its influences on grain production in China / D. Ge, H. Long, Y. Zhang [et al.] // Land Use Policy. — 2018. — Vol. 70. — P. 94–105. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.010

7. Functional evolution of rural housing land: a comparative analysis across four typical areas representing different stages of industrialization in China / G. Jiang, X. He, Y. Qu [et al.] // Land Use Policy. — 2016. — Vol. 57. — P. 645–654. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.037

8. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 753н от 28.10.2020 «Об утверждении Правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов» / Официальный интернет-портал правовой информации // docs.cntd.ru : [сайт]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/573113861?section=status (дата обращения : 13.12.2021).

9. ГОСТ 12.3.020-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности (с Изменением № 1). Сб. ГОСТов. — Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. — 8 с.

10. ГОСТ 15 150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5). — Москва : Стандартинформ, 2010. — 58 с.

Поступила в редакцию 07.06.2022
Поступила после рецензирования 08.07.2022
Принята к публикации 08.07.2022

Об авторах:

Матюшева Надежда Владимировна, старший преподаватель кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (196601, РФ, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2, лит. А), ORCID, 79118202213@mail.ru

Худякова Вера Михайловна, доцент кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (196601, РФ, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2, лит. А), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID, vmsafonova@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Н. В. Матюшева — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов; В. М. Худякова — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 331.453
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-18-23

Совершенствование механизма взаимодействия предприятий нефтеперерабатывающей промышленности с подрядными организациями

З. Г. Фарахутдинова, Е. И. Бахонина, Н. В. Шутов
Уфимский государственный нефтяной технический университет (г. Уфа, Российская Федерация)

Введение. Крупные проекты в нефтеперерабатывающей отрасли требуют привлечения подрядных организаций. Сотрудничество с квалифицированными и ответственными подрядчиками можно рассматривать как конкурентное преимущество, позволяющее своевременно сдавать объекты при должном уровне качества и безопасности.
Обращают на себя внимание значимые показатели травматизма в подрядных организациях, действующих на нефтеперерабатывающих объектах. Это обусловливает интерес к вопросам безопасности условий труда в отрасли. Один из подходов к решению проблемы — задействовать систему управления охраной труда при взаимодействиях заказчика и подрядчика.
Постановка задачи. Задача данного исследования — совершенствование механизма рейтингования подрядных организаций с точки зрения охраны труда и производственной безопасности.
Теоретическая часть. Использована официальная статистическая отчетность о травматизме, данные о травматизме работников подрядных организаций на нефтеперерабатывающем заводе крупной российской компании. Разработан механизм рейтингования подрядных организаций в данной области. Он включает три раздела с собственными критериями и весовыми коэффициентами. Автоматически формируемый и периодически обновляемый рейтинг предлагается размещать в открытом доступе на сайте Федеральной службы по труду и занятости.
Выводы. Использование предложенного рейтинга позволит заказчикам, работающим в сфере нефтепереработки, обоснованно судить о рисках, которые генерирует система производственной безопасности потенциальных подрядчиков.

Ключевые слова: подрядные организации, нефтеперерабатывающая отрасль, несчастные случаи, рейтинг, критерии, информационная карта, взаимодействие заказчика и подрядчика.

Для цитирования: Фарахутдинова, З. Г. Совершенствование механизма взаимодействия предприятий нефтеперерабатывающей промышленности с подрядными организациями / З. Г. Фарахутдинова, Е. И. Бахонина, Н. В. Шутов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 18–23. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-18-23

Original article

Improvement of Interaction Mechanism between Oil Refining Enterprises and Contractors

Z. G. Farakhutdinova, E. I. Bakhonina, N. V. Shutov
Ufa State Petroleum Technological University (Ufa, Russian Federation)

Introduction. Major projects in the oil refining industry require the involvement of contractors. Cooperation with qualified and responsible contractors can be considered as a competitive advantage, allowing timely delivery of objects with the proper level of quality and safety.

Significant injury rates in contracting organizations operating at oil refining facilities attract attention. This leads to an interest in safety of working conditions in the industry. One of the approaches to solving the problem is to use the occupational health and safety management system in the interactions of the customer and the contractor.
Problem Statement. The objective of this study is to improve the mechanism of rating contractors from the point of view of occupational and industrial safety.
Theoretical Part. The paper uses the official statistical reports on injuries and the data on injuries of employees of contracting organizations at an oil refinery of a large Russian company. A mechanism for rating contractors in this area has been developed. It includes three sections with their own criteria and weight coefficients. The automatically generated and periodically updated rating is proposed to be placed in open access on the website of the Federal Service for Labor and Employment.
Conclusions. The use of the proposed rating will allow customers working in the field of oil refining to reasonably judge the risks generated by the industrial safety system of potential contractors.

Keywords: contractors, oil refining industry, accidents, rating, criteria, information card, interaction between the customer and the contractor.

For citation: Farakhutdinova Z. G., Bakhonina E. I., Shutov N. V. Improvement of Interaction Mechanism between Oil Refining Enterprises and Contractors. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 18−23. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-18-23

Введение. Компани нефтеперерабатывающей отрасли привлекают подрядные организации при строительстве объектов [1]. В большинстве случаев заказчик нацелен на минимизацию трат. При этом многие подрядчики намерены во чтобы то ни стало выиграть тендер. Один из инструментов — снижение экономически обоснованной цены контракта, демпинг. Это не только сказывается на качестве, сроках выполнения работ, но и обусловливает нарушения, в том числе в области промышленной безопасности (ПБ) и охраны труда (ОТ) [2]. Таким образом, нецелесообразное снижение затрат — одна из причин травматизма. Особые риски создает демпинг в тендерах по выполнению работ на опасных производственных объектах (ОПО)[1], в том числе на нефтеперерабатывающих предприятиях.

На рис. 1 представлены данные по травматизму за последние десять лет в сфере производства нефтепродуктов[2].

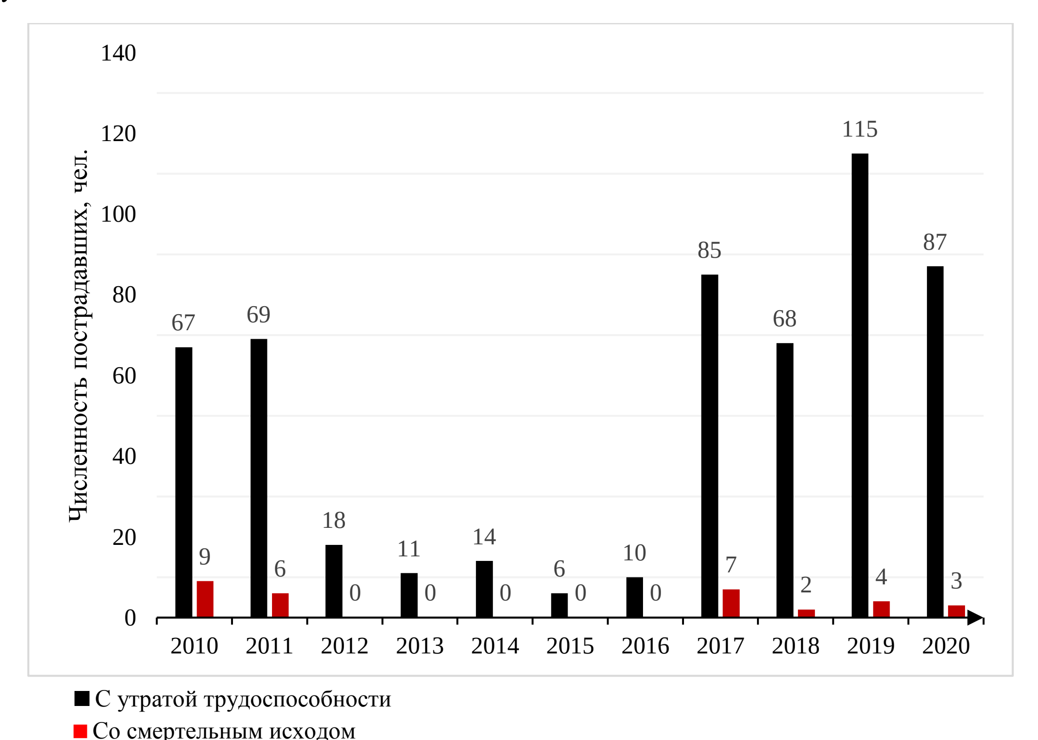


Рис. 1. Количество пострадавших в сфере производства нефтепродуктов (Россия, 2010–2020 гг.)

[1] Нгуен О. Как обеспечить безопасность подрядных организаций // EcoStandard.journal : [сайт]. URL: https://journal.ecostandard.ru/ot/opinion/kak-obespechit-bezopasnost-podryadnykh-organizatsiy/ (дата обращения : 14.01.2022).
[2] Росстат. Сведения о пострадавших на производстве по коду ОКВЭД 19.2 — Производство нефтепродуктов в 2010–2020 году // Условия труда, производственный травматизм (по отдельным видам экономической деятельности) : [сайт]. URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения : 14.01.2022).

На рис. 2 представлены данные о травматизме работников подрядных организаций на нефтеперерабатывающем заводе крупной российской компании в 2019–2021 гг. Это свидетельствует о проблемах в области безопасности и управления охраной труда.

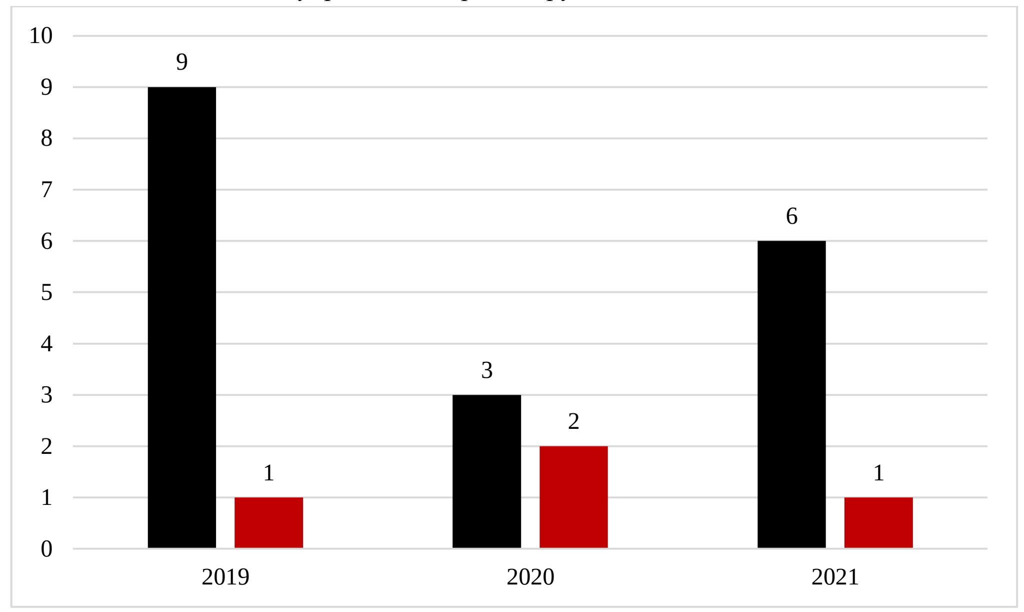


Рис. 2. Травматизм и связанная с ним смертность в организациях — подрядчиках российского нефтеперерабатывающего завода (2019–2021 гг.)

Постановка задачи. Основная задача — совершенствование механизма взаимодействия предприятий нефтеперерабатывающей промышленности с подрядными организациями на основании объективной оценки деятельности подрядчика в области ОТ и ПБ.

Теоретическая часть. В большинстве случаев подрядные организации, привлекаемые на ОПО нефтеперерабатывающей отрасли, выполняют четыре вида работ:

– основные (монтаж, ремонт, реконструкция и т. д.),
– подготовительные и пусконаладочные,
– логистические,
– транспортные (в том числе перевозка персонала) [3].

Основные причины нарушения правил безопасности:

– непринятие мер по обеспечению безопасности работ на территории заказчика;
– использование неисправных инструментов, приспособлений, технических устройств, механизмов и прочих технических средств;
– низкая квалификация персонала подрядчика;
– текучесть кадров среди персонала подрядчика;
– незначительный производственный опыт подрядной организации[3];
– отсутствие мотивации у персонала соблюдать технику безопасности [4].

Взаимодействие заказчика с подрядчиком проходит в несколько этапов:

1) подготовка технического задания,
2) оценка заявок подрядчиков,
3) выбор подрядчика,
4) взаимодействие с подрядчиком,
5) анализ работы [5].

Рассмотрим примеры ошибочного поведения заказчика на разных этапах.

1. При подготовке технического задания требования в области ОТ и ПБ описываются общими терминами, что не отражает детально специфику работ.

[3] Симонова Н. И., Вихров С. В., Иванов В. В. Повышение безопасности работников подрядных организаций на основе управления профессиональными рисками // Клинский институт охраны и условий труда : [сайт]. URL: https://www.kiout.ru/info/publish/29114 (дата обращения : 14.01.2022).

2. Оценивая заявки, заказчик не может достоверно узнать, как потенциальные подрядчики соблюдают требования ОТ и ПБ.

3. Победителем тендера в большинстве случаев становится участник, предложивший минимальную цену [6]. Как показывает практика, заказчики не считают весомым критерием обеспечение высокого уровня соблюдения требований ОТ и ПБ.

4. С подрядчиком оформляют акты допуска и передачи объекта. В части ОТ и ПБ проверяются только данные о штрафных санкциях, наложенных госорганизациями. Контрагенты не обсуждают и, соответственно, не проводят превентивные мероприятия по обеспечению безопасности.

5. По окончании контракта заказчик не анализирует работу и, объявляя новый тендер, допускает те же ошибки.

Ситуацию можно существенно улучшить, если на 2-м этапе (оценка заявок) принимать во внимание уровень обеспечения соискателем ОТ и ПБ.

В качестве решения предлагается механизм рейтингования, объективно отражающий ситуацию с ОТ и ПБ, сложившуюся в компании — участнице тендера [7, 8].

Для соответствующего рейтинга организаций предусмотрена оценка по трем разделам:

1) категория риска,
2) локально-нормативные документы,
3) статистика по ОТ и ПБ.

Рейтингование целесообразно проводить на платформе Федеральной службы по труду и занятости (Роструд). Для участия в рейтинге подрядчик должен будет направить в Роструд заявку с пакетом требуемых документов. По разделу 1 Роструд присваивает баллы в соответствии с категорией риска, рассчитанной на основании рискориентированного подхода[4]. Для раздела 2 с помощью разработанного алгоритма анализируются и проверяются документы. В этом случае баллы начисляются таким образом: «присутствует» — 1 балл, «отсутствует» — 0. Часть данных алгоритм получает с порталов органов государственной власти.

Для раздела 3 Роструд анализирует статистику данных различных ведомств. Баллы суммируются, рейтинг публикуется на сайте Роструда и регулярно обновляется. Для большей наглядности можно задействовать три цвета, которые будут указывать на высокий, средний и низкий уровень обеспечения ОТ и ПБ. Высокий индекс надежности подрядчика соответствует 42–50 баллам, средний — 32–41, низкий — 0–31 (табл. 1).

Таблица 1

Схема рейтинга надежности подрядчиков

Место	Номер подрядчика	Реквизиты подрядчика	Сумма баллов	Индекс надежности
1	1	–	50	Высокий
2	2	–	…	
3	3	–	…	
4	4	–	…	
5	5	–	42	
6	6	–	41	Средний
7	7	–	…	
8	8	–	…	
9	9	–	…	
10	10	–	32	
11	11	–	31	Низкий
12	12	–	…	
13	13	–	…	
14	14	–	…	
15	15	–	0	

Ниже описаны система ранжирования и критерии оценки.

[4] Правила отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности : Постановление Правительства РФ от 17.08.2016 г. № 806 (с изм. и допол. от 21.03.2019) № 806 // docs.cntd.ru : [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/420372694 (дата обращения : 16.02.2022).

1. Категория риска подрядчика определяется на основании Правил отнесения его деятельности и (или) используемых производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации[5]. Баллы присваиваются следующим образом: чрезвычайно высокий риск — 1, высокий — 2, значительный — 3, средний — 4, умеренный и низкий — 5.

2. Локально-нормативные документы подрядчика в области ОТ и ПБ (за наличие каждого отчета — 1 балл, отсутствие — 0).

2.1. Наличие политики в области охраны здоровья и безопасности труда, в области качества, в сфере охраны окружающей среды, в сфере энергетики, а также корпоративная политика социальной ответственности (за наличие каждой политики — 1 балл, отсутствие — 0).

2.2. Проведение оценки условий труда.

2.3. Система оперативного информирования о происшествиях.

2.4. Внутренняя процедура организации и расследования происшествий.

2.5. Мероприятия по оценке профессиональных рисков.

2.6. Обеспечение (с запасом) сотрудников средствами индивидуальной и коллективной защиты.

2.7. Периодические медосмотры сотрудников.

2.8. Процедура информирования работников об условиях труда на их рабочих местах, уровнях профессиональных рисков, а также гарантии и компенсации за работу во вредных и опасных условиях (денежные поощрения и санаторно-курортное лечение).

2.9. Организация и проведение дополнительного обучения в области безопасности труда.

2.10. Сертификаты соответствия требованиям международных стандартов ISO 9000:2008, ISO 14001:2004 и ГОСТ Р ИСО 45001-2020.

2.11. Положительные отзывы, благодарственные письма, грамоты и др.

2.12. Порядок допуска к выполнению работ повышенной опасности.

2.13. Комиссия по проверке знания сотрудниками требований ОТ и ПБ.

3. Статистика по ОТ и ПБ.

3.1. Время работы на рынке (менее 5 лет — 0 баллов, 5–8 — 1, 8–10 — 2, более 10 — 3).

3.2. Ведение статистики по травматизму на предприятии: более 5 лет — 3 балла, 3–5 лет — 2, менее 3 лет — 1, нет статистики — 0.

3.3. Статистика несчастных случаев за последние 5 лет: без происшествий — 3 балла, 1–2 случая — 2, 3–4 — 1, 5 и более — 0.

3.4. Данные о травмированных и страдающих профессиональными заболеваниями работников: без потери трудоспособности — 3 балла; с утратой трудоспособности (до 30 % от общего количества сотрудников) — 2; с утратой трудоспособности (до 50 % от общего количества сотрудников) — 1; с утратой трудоспособности (свыше 50 % от общего количества сотрудников) — 0.

3.5. Предписания контрольно-надзорных органов (Роструд и Ростехнадзор) за последние три года: не выдавались — 3 балла, менее 3 предписаний — 2, 3–6 — 1, более 6 — 0.

3.6. Сумма административных штрафов: 0 — 3 балла, до 100 тыс. руб. — 2, 100–300 тыс. руб. — 1, более 300 тыс. руб. — 0.

Заказчику следует заранее идентифицировать опасные и вредные производственные факторы, разработать меры управления профессиональными рисками, процедуры расследования несчастных случаев с персоналом подрядчика [9]. Это важно, учитывая, что подрядчик знает не обо всех рисках для здоровья и безопасности своих сотрудников на территории заказчика.

Эффективное взаимодействие заказчика и подрядчика предполагает создание информационной карты по ОТ и ПБ предприятия. Документ проинформирует подрядчика о существующих и возможных опасностях и подготовит к проведению работ в соответствующих производственных условиях. Информацию из такой карты необходимо отразить в разделе ОТ и ПБ технического задания.

Выводы. Создание и обнародование рейтинга подрядных организаций в области ОТ и ПБ позволит заказчикам, работающим в сфере нефтепереработки, обоснованно судить о системе производственной безопасности потенциальных подрядчиков. Итогом должно стать снижение рисков аварий и травм.

[5] Правила отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности.

Библиографический список

1. Смыслова, В. А. Анализ причин несчастных случаев с тяжелыми последствиями на производстве / В. А. Смыслова, Ю. А. Шипилова // Нефтегазовое дело. — 2016. — № 5. — С. 207–219.

2. Ямпольский, Ю. М. Содержание процедуры конкурсного выбора подрядчиков для финансово-промышленной группы / Ю. М. Ямпольский // Экономический анализ: теория и практика. — 2008. — № 13 (118). — С. 40–48.

3. Свищев, А. В. Организация порядка допуска подрядных организаций для производства работ на примере одного из газовых месторождений / А. В. Свищев // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. — 2016. — № 16-1. — С. 148–150.

4. Ларина, А. А. Создание эффективной системы мотивации персонала в строительной организации / А. А. Ларина // Молодой ученый. — 2015. — № 23 (103). — С. 583–586.

5. Глебова, Е. В. Порядок допуска подрядных организаций к выполнению работ на строительной площадке / Е. В. Глебова, Э. А. Фомин, М. В. Иванова // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 2. — С. 24–28. https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-2-24-28

6. Большакова, П. В. Организация проведения торгов техническим заказчиком по выбору подрядной организации / П. В. Большакова // Наука и бизнес: пути развития. — 2019. — № 3. — С. 134–137.

7. Бочкарева, О. Ю. Инструментарий оценки подрядчика при проведении конкурсной процедуры для выполнения строительных работ или оказания услуг / О. Ю. Бочкарева // Вестник гражданских инженеров. — 2021. — № 4 (87). — С. 157–165. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-4-157-165

8. Шаховская, В. Н. Внедрение отраслевой рейтинговой системы в строительной отрасли / В. Н. Шаховская // Экономика и управление. — 2016. — № 4 (48). — С. 48–51.

9. Кошечкин, Ю. В. Идентификация потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов — начало специальной оценки условий труда / Ю. В. Кошечкин, С. Н. Барабанова // Вестник сельского развития и социальной политики. — 2014. — № 2 (2). — С. 34–36.

Поступила в редакцию 15.04.2022
Поступила после рецензирования 02.06.2022
Принята к публикации 02.06.2022

Об авторах:

Фарахутдинова Зульфия Гарифьяновна, магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), ORCID, valeeva.zulfiya2016@yandex.ru

Бахонина Елена Игоревна, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), кандидат технических наук, ORCID, helenabaho@mail.ru

Шутов Николай Владимирович, доцент кафедры «Пожарной и промышленной безопасности», заведующий базовой кафедрой ЗАО «Безопасные технологии» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), ORCID, pkpb@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

З. Г. Фарахутдинова — сбор и анализ литературных данных, разработка основной концепции исследования, постановка задачи; Е. И. Бахонина — научное руководство, формулирование основной цели работы, создание методики оценки риска, редактирование текста; Н. В. Шутов — критический анализ, редактирование и консультирование при создании методики оценки риска.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 658.345.061.5 (470.21)
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-24-31

Практическая реализация концепции культуры промышленной безопасности на примере крупнейших горных предприятий

И. П. Карначев, **А. А. Челтыбашев**, **С. Н. Судак**
Мурманский государственный технический университет (г. Мурманск, Российская Федерация)

Введение. В настоящее время существует ряд различных концепций снижения производственного травматизма. Одним из важнейших механизмов уменьшения количества потенциально опасных событий и травм на опасных производственных объектах является формирование культуры промышленной безопасности. Однако в настоящее время отсутствуют исследования, посвященные эффективности использования системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является анализ состояния культуры промышленной безопасности на основе статистики производственного травматизма.
Теоретическая часть. В качестве базовой информации использована статистическая отчетность о случаях производственного травматизма, предоставленная акционерным обществом «Кольская горно-металлургическая компания» (АО «Кольская ГМК») — дочерним предприятием ПАО «ГМК «Норильский никель», на основе которой проведен анализ состояния культуры промышленной безопасности.
Выводы. Результаты проведенного анализа создания благоприятной среды для формирования культуры промышленной безопасности говорят об эффективности принятых мер для концерна ПАО «ГМК «Норильский никель», в состав которого входит крупнейшее горнодобывающее предприятие региона «Кольская горно-металлургическая компания (АО «Кольская ГМК»)».

Ключевые слова: культура промышленной безопасности, потенциально опасный объект, показатели травматизма, безопасность труда.

Для цитирования: Карначев, И. П. Практическая реализация концепции культуры промышленной безопасности на примере крупнейших горных предприятий / И. П. Карначев, А. А. Челтыбашев, С. Н. Судак // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 24–31. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-24-31

Original article

Practical Implementation of the Concept of Industrial Safety Culture on the Example of the Largest Mining Enterprises

I. P. Karnachev, **A. A. Cheltybashev**, **S. N. Sudak**
Murmansk State Technical University (Murmansk, Russian Federation)

Introduction. Currently, there are a number of different concepts for reducing occupational injuries. One of the most important mechanisms for reducing the number of potentially dangerous events and injuries at hazardous production facilities is the formation of an industrial safety culture. However, there are currently no studies devoted to the effectiveness of the use of the occupational safety and health management system.
Problem Statement. The objective of this study is to analyze the state of industrial safety culture based on occupational injury statistics.

Theoretical Part. As the basic information, statistical reports on cases of industrial injuries provided by the Kola Mining and Metallurgical Company Joint Stock Company (JSC Kola MMC), a subsidiary of PJSC "MMC "Norilsk Nickel", were used, on the basis of which an analysis of the state of industrial safety culture was carried out.

Conclusions. The results of a detailed analysis of the effectiveness of creating a favorable environment for the formation of industrial safety culture on the example of the concern PJSC "MMC "Norilsk Nickel", which includes the largest mining enterprise in the region, Kola Mining and Metallurgical Company (JSC Kola MMC), indicate the effectiveness of the measures taken.

Keywords: industrial safety culture, potentially hazardous facility, injury rates, occupational safety.

For citation: Karnachev I. P., Cheltybashev A. A., Sudak S. N. Practical Implementation of the Concept of Industrial Safety Culture on the Example of the Largest Mining Enterprises. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 24‒31. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-24-31

Введение. В России понятие «культура безопасности» появилось в 1986 г. при анализе причин и последствий аварии на Чернобыльской АЭС. МАГАТЭ по итогам расследования техногенной аварии на атомной станции назвало одной из основных причин отсутствие у персонала культуры безопасности (далее — КБ). В соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15), утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522, культура безопасности — это один из фундаментальных принципов управления безопасностью, который определяется набором «характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц» [1]. Следовательно, данные характеристики имеют высокую значимость и им необходимо уделять пристальное внимание.

Постановка задачи. В настоящее время ключевые требования по обеспечению безопасности на основе концепции культуры безопасности для отечественных АЭС наиболее полно сформулированы и представлены в ряде нормативных документов, из которых выделим наиболее важные [2]:

– Требования МАГАТЭ по безопасности № SF-1 и SSR-2/2 [3, 4];

– Руководства МАГАТЭ по безопасности № GS-G-3.1, NS-G-2.11 [5, 6];

– Руководства МАГАТЭ по опыту эксплуатации на АЭС [7, 8-14];

– Руководство ВАО АЭС по опыту эксплуатации на АЭС GL 2003-01 [15];

– Стандарты организации ОАО «Концерн Росэнергоатом» СТО 1.1.1.04.005.0797-2012 и СТО 1.1.1.01.002.0646-2012 [16, 17].

Подробно практическое изложение концепции КБ для АЭС приведено в источниках [18, 19]. Отметим, что к категории опасных производственных объектов (ОПО), согласно источнику [20, п. 5], относятся также и объекты, на которых «ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, а также работы в подземных условиях». В наши дни общество пришло к пониманию того, что культура безопасности выходит далеко за рамки её использования только на ОПО. Не менее важно, чтобы культура безопасности в повседневной жизни была применима к каждому человеку в отдельности, и к обществу в целом. Воробьев Ю. Л. под культурой безопасности понимает такое состояние развития человека, социальной группы, общества, у которого есть устойчивая потребность к обеспечению безопасной жизни и трудовой деятельности. Кроме этого, на этом этапе в обществе возникает потребность по снижению уровня опасности [21].

Таким образом, КБ должна формироваться в условиях определенного состояния среды, для достижения которого необходимо сформировать личность. Эта личность должна нести в себе определенные специфичные качества [22]. Чтобы сформировать методические основы культуры безопасности требуется определить объекты и выбрать методы воздействия.

Эти методы должны позволить получить необходимые качества и свойства [21]. На верхней ступени формирования культуры безопасности находится государство и общество. В качестве основного системообразующего фактора обеспечения безопасности выступают социальные и государственные ценности и приоритеты. Ведущую роль в формировании культуры безопасности в соответствующих сферах берут на себя федеральные органы исполнительной власти и МЧС России [22]. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности принято разделять на три уровня: индивидуальный, корпоративный и общественно-государственный [22].

Индивидуальный уровень КБ направлен на формирование мировоззрения безопасной деятельности во всех сферах жизнедеятельности человека, признание и принятие приоритета собственной безопасности,

которая неразрывно связана с безопасностью других людей и окружающий среды. Индивидуальный уровень должен включать в себя также:

– формирование паттернов безопасного поведения на основе развития природных качеств и приобретенных способностей человека, направленных на возможность действенного предупреждения и защиты от потенциальных опасностей;

– формирование умения создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности.

Индивидуальный уровень безусловно затрагивает также вопросы защиты и сохранения природной среды, понимания значимости решения экологических проблем и глобального характера негативных воздействий, связанных с антропогенной деятельностью.

На корпоративном уровне культура безопасности жизнедеятельности должна быть одной из высших ценностей самой организации (компании). Это достигается за счет создания чувства персональной ответственности в вопросах безопасности и психологической настроенности на безопасность каждого работника. Для этого необходим контроль со стороны администрации, организация процесса идентификации опасностей и оценки рисков на рабочих местах, проведение профессионального отбора, обучения и подготовки персонала в каждой сфере деятельности в организации, влияющей на безопасность коллектива в целом [23]. В коллективе должно присутствовать понимание того, что снижение производственных рисков, инцидентов и аварий складывается из соблюдения трудовой дисциплины и четкого регламента безопасных действий каждого работника. Немаловажную роль в вопросе КБ играет моральное и материальное стимулирование персонала.

На общественно-государственном уровне культура безопасности реализуется посредством формирования социального сознания и определенной системы социальных ценностей (приоритетов) в области безопасности жизнедеятельности, нацеленных на обеспечение устойчивого развития общества. Этому должны способствовать: развитие нормативного правового поля; страховые механизмы обеспечения безопасности; развитие науки и искусства; общественное и государственное стимулирование; целенаправленное продвижение политики безопасности в профессиональной деятельности, в социальной сфере и в повседневной жизни.

В вопросах культуры безопасности важную роль играет пропаганда, социальная реклама и образование, в основе которого должно лежать духовно-нравственное и патриотическое воспитание человека. Основной задачей исследования является оценка эффективности системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья, формирования культуры промышленной безопасности у сотрудников ПАО «ГМК «Норильский никель».

Теоретическая часть. В процессе преобразования корпоративной культуры безопасности социально ответственные организации (компании) делают акцент на обучение персонала безопасным приемам и навыкам работы и на сокращение производственного травматизма. Так, передовые горнодобывающие компании давно пришли к необходимости практической реализации концепции культуры безопасности на рабочих местах. Как реализуется подход по формированию КБ у сотрудников, рассмотрим на примере ПАО «ГМК «Норильский никель», где строго соблюдают правила промышленной безопасности, активно ведут просветительную работу в вопросах охраны труда и применяют инновационные решения. В ПАО «ГМК «Норильский никель» действуют 17 корпоративных стандартов минимизации рисков. Один из них — корпоративный стандарт по расследованию несчастных случаев на производстве.

Специфика сектора добычи руды — это высокая степень механизации, где в рабочей зоне горных рудников одновременно перемещается большое количество крупногабаритных машин и огромные объемы сырья, которые могут стать причиной травматизма.

В статье 219 ТК РФ говорится о том, что работник имеет право отказаться от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья [24]. Департамент ПБ и ОТ (промышленной безопасности и охраны труда) ПАО «ГМК «Норильский никель» не только пропагандирует эту статью Трудового кодекса среди своего персонала, но и настаивает на ее применении. Практическая реализация концепции культуры безопасности требует понимания того, что обеспечение безопасности — это не только контроль производственных рисков, но и внедрение инновационного оборудования и новых организационно-технических мероприятий. Например, с целью оптимизации безопасности рабочей зоны и предупреждения возможных инцидентов, вся механизированная техника оснащается видеорегистраторами, парктрониками с системой «антинаезд» — оповещением водителя транспорта о нахождении в «слепой зоне» людей.

С целью мониторинга и фиксации в онлайн режиме производственных процессов на рабочих местах устанавливают видеонаблюдение и электронные гаджеты. Подобные инновационные решения позволяют

контролировать соблюдение санитарно-гигиенических и противопожарных норм, правил производственной безопасности. Видеоконтроль дает возможность проверить соблюдение различных протоколов и применить административные методы влияния на ситуацию, а в итоге повысить ответственность самого работника и снизить производственный травматизм.

На руднике «Заполярный» ООО «Медвежий ручей» реализован IT-проект системы диспетчеризации с созданием системы подземного позиционирования персонала и техники, в основе которой лежит распознание индивидуальных меток работника и микросотовая связь по персональному телефону с ним.

Организационные мероприятия КБ включают в себя работу со специалистами разного уровня и профиля, с целью изменения отношения, поведения и стиля мышления работника, активного вовлечения каждого сотрудника. Так, с целью проведения массового скоростного тестирования контроля знаний КБ и техники безопасности работников перед началом каждой смены, в НОУ Корпоративный университет «Норильский никель» в тестовом режиме запущен компьютеризированный комплекс с использованием текстовых вопросов, интерактивных видеофайлов и 3D-компьютерных моделей.

В дальнейшем это поможет улучшить взаимодействие между сотрудниками, поддерживать постоянный контакт администрации с работником (отслеживать и реагировать на обращения, в рамках обратной связи), тем самым сформировать устойчивую культуру безопасности на производстве. Этот процесс занимает достаточно большой период времени и требует активного вовлечения руководства на разных уровнях. Но это стоит того, так как сформированная корпоративная КБ ведет к улучшению условий труда в организациях и достижению высокой эффективности производства.

Реализация концепции культуры безопасности должна строиться на объективном комплексном и системном подходе за счет правильно выстроенных и интегрированных процессов системы менеджмента в области безопасности труда и охраны здоровья в компании.

Проведем анализ эффективности реализации заявленной концепции КБ на предприятиях ПАО ГМК «Норильский никель», для чего рассмотрим изменение количества различного вида производственных травм на основе данных по производственному травматизму, опубликованных в ежегодных статистических отчетах компании. В качестве основных анализируемых показателей возьмем:

– FIFR — показатель частоты несчастных случаев на производстве со смертельным исходом. Рассчитывается как количество смертельных случаев, приходящихся на 1 млн отработанных часов;

– LTIFR — суммарное рабочее время, потерянное в результате полученных травм. Рассчитывается как количество случаев потери рабочего времени (LTI) отнесенное к суммарному отработанному рабочему времени в подразделении или в организации (Work Hours — WH) за отчетный год и нормированное на 1 млн чел/час:

$$\text{LTIFR} = \frac{\text{LTI*1000000 (чел/час)}}{\text{WH}},$$

где LTI — численность пострадавших при несчастных случаях на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, включая несчастные случаи со смертельным исходом;

WH — суммарно отработанное рабочее время в подразделении или в организации за отчетный год в часах;

– Общее количество несчастных случаев, связанных с производством;

– Количество микротравм;

– Количество потенциально опасных происшествий (количество зафиксированных нарушений норм охраны труда и промышленной безопасности).

Как показывает статистическая отчетность в сфере травматизма на производстве всероссийского мониторинга социально-трудовой сферы, начиная с 2000 г. отмечается положительная динамика, которая далеко не в полной мере отражает реальную картину в области безопасности труда для работников промышленных объектов (Таблица 1) [26].

Таблица 1

Основные показатели по травматизму для ПАО «ГМК «Норильский никель» за 2016–2020 гг.

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
FIFR (учет с 2013 г.)	0,11	0,08	0,05	0,09	0,08
LTIFR (учет с 2013 г.)	0,35	0,44	0,23	0,32	0,29
Общее количество страховых несчастных случаев	56	61	32	44	30
Количество страховых несчастных случаев со смертельным исходом	13	9	6	9	8

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Количество микротравм	611	719	842	873	791
Количество потенциально опасных происшествий	1976	1845	2139	2074	1963

Анализ данных по производственному травматизму ПАО «ГМК «Норильский никель» за указанный период показал, что процент страховых несчастных случаев со смертельным исходом на ПАО «ГМК «Норильский никель» варьируется в пределах от 14,8 до 26,7 % от общего количества страховых несчастных случаев.

Следует отметить, что за временной период 2016–2020 гг. наблюдается резкое увеличение количества микротравм (с марта 2022 года обязательный учет согласно ст. 226 ТК РФ, глава 36.1, раздел X) и потенциально опасных происшествий. Рост величин показателя «Количество микротравм» (КМ) и «Количество потенциально опасных происшествий» (КПОП) связан с тем, что в организации был внедрен новый корпоративный стандарт по организации расследования всех несчастных случаев на производстве [24]. В этой ситуации немаловажную роль сыграла разъяснительная работа среди сотрудников, которая позволила сформировать у персонала понимание важности своевременного информирования администрации о потенциально опасных происшествиях и микротравмах. Новый подход активного управления безопасностью на основе принципов КБ позволил снизить количество случаев с более тяжелыми последствиями.

На рис. 1 представлены гистограммы по индексу безопасности производства для ПАО «ГМК «Норильский никель», где индекс безопасности производства — это отношение количества выявленных несоответствий ко времени, затраченному командой аудиторов на проведение аудита.

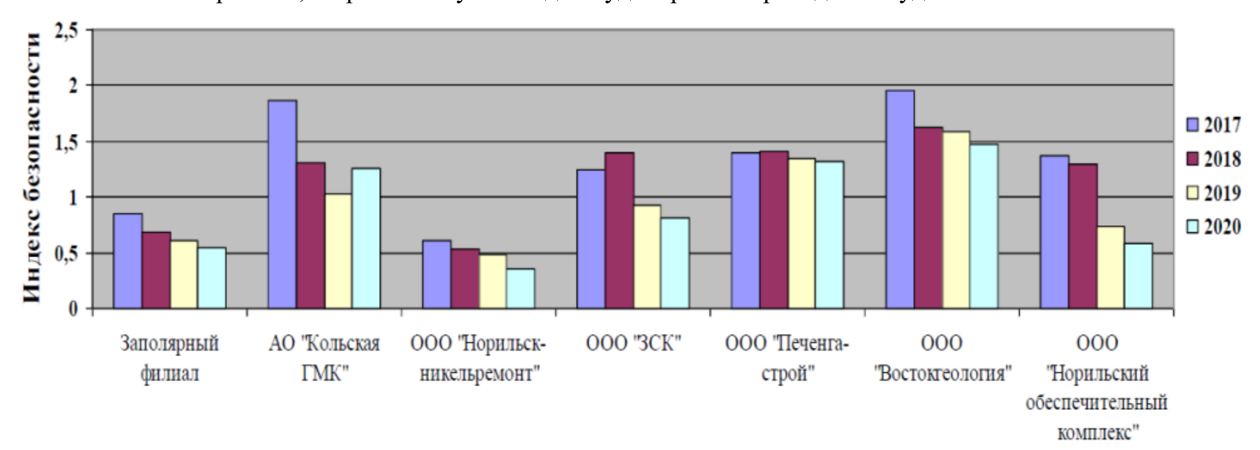


Рис. 1. Годовая динамика индекса безопасности производства на примере промышленных предприятий ПАО «ГМК «Норильский никель»

Представленные данные позволяют сделать вывод, что большинство филиалов (Заполярный филиал, АО «Кольская ГМК», ООО «Норильский обеспечивающий комплекс», ООО «Востокгеология», ООО «ЗСК», ООО «Норильск-никельремонт») наглядно демонстрируют явное снижение уровня индекса безопасности производства за четырехлетний временной период анализа за период 2017–2020 гг., что позволяет говорить об эффективности заявленной концепции КБ.

Благодаря принятию целевых программ по снижению производственных рисков и внедрению корпоративных стандартов стало возможным пересмотреть саму систему управления рисками промышленного предприятия, повысить уровень КБ и снизить показатели производственного травматизма в 2020 г. Одна из целей управления рисками — это соответствие современным международным стандартам в области промбезопасности, охраны труда и окружающей среды.

В то же время на многих горнодобывающих предприятиях Северо-Западного региона РФ в Мурманской области (АО «Олкон», АО «Ковдорский ГОК» и др.) в рамках системы управления охраной труда до сих пор практикуется компенсационная политика, ориентированная большей частью на возмещение вреда от несчастных случаев. Очевидно, что такой подход не может устранить системные причины возникновения несчастных случаев различной тяжести на рабочих местах и не снижает уровень профессионального травматизма.

Результат сравнительного анализа позволяет сделать заключение, что цели, принципы и методы организации системы мониторинга условий труда и соблюдения регламентных документов в области охраны труда в России не соответствуют целям, задачам и функциям системы управления профессиональными

рисками работников. Динамика изменения показателей травматизма на микроуровне не согласуется с изменением динамики показателей безопасности труда на макроуровне. Следовательно, можно сделать вывод о недостаточной сформированности культуры безопасности на предприятиях горнопромышленного комплекса региона. Данные, ежегодно предоставляемые специалистами статистической службы ЕС «Eurostat», также свидетельствуют о востребованности формирования КБ, которая позволяет реально снизить уровень производственного травматизма. Например, за 2012–2017 гг. в странах ЕС обнаруживается снижение производственного травматизма до 25–30 % [26]. Цель формирования КБ заключается в изменении общего стиля поведения и формирования определенной среды, которая позволит снизить производственные риски и профессиональный травматизм. Формирование культуры безопасности на ОПО предусматривает совершенствование деятельности организации области охраны труда, разработку комплексной системы обучения, анализа и контроля за состоянием промышленной безопасности.

При формировании КБ первоочередными должны стать мероприятия по определению порядка и процедуры доступа к информации об уровнях потенциальных производственных рисков в организации (компании). Информация должна быть достоверной, актуальной, научно-обоснованной, с учетом влияния производственных рисков на здоровье человека и возможного его повреждения, а также сопутствующего ущерба окружающей среде.

Выводы. В рамках современной стратегии промышленной безопасности, администрацией ПАО «ГМК «Норильский никель» была создана эффективная система менеджмента безопасности труда и охраны здоровья в соответствии с ГОСТ Р 55271–2012 [27], сориентированная на культуру безопасности и управление профессиональными рисками [28]. Однако следует отметить, что несмотря на рост культуры безопасности [25], концепция «нулевого» смертельного травматизма по итогам 2020 года так и не была реализована. Поэтому менеджменту предприятия в области охраны труда необходимо научится анализировать имеющуюся статистическую информацию о причинах возникновения несчастных случаев не только на предприятиях, входящих в состав ПАО «ГМК «Норильский никель», но и других предприятиях горно-металлургического комплекса.

Несмотря на хорошо организованную систему внутреннего аудита состояния системы охраны труда и промышленной безопасности, следует уделить внимание качеству и своевременности подготавливаемых отчетов, а также провести оценку рисков на наиболее травмоопасных рабочих местах, при этом стоит рассматривать все причины получения травм в контексте общего уровня культуры безопасности.

При принятии управленческих решений необходимо не только осуществлять своевременную корректировку политики в области охраны труда, но и определить средства и способы по предупреждению и устранению причин производственного травматизма, а также проводить работу по профилактике несчастных случаев и профессиональных заболеваний [29].

Таким образом, при принятии управленческих решений администрация предприятия должна демонстрировать свою заинтересованность как в области охраны труда, так и в области промышленной безопасности.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15) / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов // docs.cntd.ru : [сайт]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/420329007 (дата обращения : 01.03.2022).

2. Машин, В. А. Формирование и развитие культуры безопасности на атомных станциях // В. А. Машин / Электрические станции. — 2016. — № 8. — С. 2–9.

3. Основополагающие принципы безопасности. Основы безопасности / Нормы МАГАТЭ по безопасности № SF-1 // www-pub.iaea.org : [сайт]. — URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273r_web.pdf (дата обращения : 29.03.2022).

4. Безопасность атомных электростанций: Ввод в эксплуатацию и эксплуатация. Конкретные требования безопасности / Нормы МАГАТЭ по безопасности № SSR-2/2 // www-pub.iaea.org : [сайт]. — URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1716_R_web.pdf (дата обращения : 29.03.2022).

5. Применение системы управления для установок и деятельности. Руководство по безопасности / Нормы МАГАТЭ по безопасности № GS-G-3.1 // www-pub.iaea.org : [сайт]. — URL: https: //www.iaea.org /ru/publications /7935 /primenenie-sistemy-upravleniya-dlya-ustanovok-i-deyatelnosti (дата обращения : 29.03.2022).

6. Учет эксплуатационного опыта о событиях на ядерных установках. Руководство по безопасности / Нормы МАГАТЭ по безопасности № NS-G-2.11 // www-pub.iaea.org : [сайт]. — URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1243r_web.pdf (дата обращения : 29.03.2022).

7. IAEA Low level events and near misses for nuclear power plants: Best practices. Safety Report Series No 73. 2012. URL: https://www.iaea.org/publications/8772/low-level-event-and-near-miss-process-for-nuclear-power-plants-best-practices (дата обращения : 29.03.2022).

8. IAEA PROSPER guidelines: Guidelines for peer review and for plant self-assessment of operational experience feedback process. Services Series No 10. 2003. Режим доступа URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/17/01/prosper-guidelines.pdf (дата обращения : 29.03.2022).

9. IAEA Effective corrective actions to enhance operational safety. TECDOC-1458. 2005. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1458_web.pdf (дата обращения : 29.03.2022).

10. Отслеживание тенденций низкоуровневых событий и случаев, близких к ошибкам, с целью улучшения состояния безопасности на атомных электростанциях / Нормы МАГАТЭ по безопасности TECDOC-1477 // www-pub.iaea.org : [сайт]. — URL: https://www.iaea.org/publications/7241/trending-of-low-level-events-and-near-misses-to-enhance-safety-performance-in-nuclear-power-plants (дата обращения : 29.03.2022).

11. Best practices in identifying, reporting and screening operating experience at nuclear power plants. TECDOC-1581. 2007 / IAEA : [сайт]. — URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1581_web.pdf (дата обращения : 02.04.2022).

12. Best practices in the utilization and dissemination of operating experience at nuclear power plants. TECDOC-1580. 2008 / IAEA : [сайт]. — URL: https://www.iaea.org/publications/7736/best-practices-in-the-utilization-and-dissemination-of-operating-experienceat-nuclear-power-plants (дата обращения : 06.04.2022).

13. Best practices in the organization, management and conduct of an effective investigation of events at nuclear power plants. TECDOC-1600. 2008 / IAEA : [сайт]. — URL: https://www.iaea.org/publications/7998/best-practices-in-the-organization-management-and-conduct-of-an-effective-investigation-of-events-at-nuclear-power-plants (дата обращения : 12.04.2022).

14. IAEA. Best practices in the management of an operating experience programme at nuclear power plants. TECDOC-1653. 2010 / IAEA : [сайт]. — URL: https://www.iaea.org/publications/8377/best-practices-in-the-management-of-an-operating-experience-programme-at-nuclear-power-plants (дата обращения : 14.04.2022).

15. Руководство по опыту эксплуатации на АЭС. WANO GL-2003-01 / Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих атомные электростанции. — ВАО АЭС, 2003. — 66 с.

16. СТО 1.1.1.04.005.0797-2012 Учет, классификация и анализ малозначимых событий (событий низкого уровня). — Концерн Росэнергоатом, 2012. — 27 с.

17. СТО 1.1.1.01.002.0646-2012 Анализ и использование опыта эксплуатации атомных станций. Основные положения / Концерн Росэнергоатом // ohranatruda.ru : [сайт]. — URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/166/4293748439.pdf (дата обращения : 16.04.2022).

18. Новиков, Г. А. Безопасное использование ядерной энергии: правовые аспекты и методы управления, регулирования и обеспечения ядерной и радиационной безопасности / Г. А. Новиков, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин. — Екатеринбург : УрФУ. — 2011. — 510 с.

19. Безопасность при эксплуатации атомных станций: учебное пособие / С. Б. Выговский, Н. Н. Давиденко, В. И. Наумов [и др.]; под ред. Н. Н. Давиденко. — Москва : МИФИ, 2007. — 168 с.

20. Оглезнев, А. В. Промышленная безопасность опасных производственных объектов (метод. пособие по курсу промышленная, экологическая и энергетическая безопасность). — Пермь : Изд-во ПРИПИТ, 2008. — 120 с.

21. Катастрофы и образование / под ред. Ю. Л. Воробьева. — Москва : Эдоториал УРСС, 1999. — 176 с.

22. Челтыбашев, А. А. Методические аспекты формирования личности безопасного типа поведения / А. А. Челтыбашев, И. П. Карначев, Э. Б. Сусленкова // Безопасность и охрана труда. — 2016. — № 4 (69). — С. 26–29.

23. Медведев, А. В. Предложение о применении метода анализа риска в системах управления промышленной безопасностью на опасных производственных объектах металлургических производств при проведении проверок / А. В. Медведев, А. Н. Горбатов, А. А. Челтыбашев // Безопасность труда в промышленности. — 2017. — № 3. — С. 76–80.

24. Трудовой кодекс Российской Федерации / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов // docs.cntd.ru : [сайт]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/901807664 (дата обращения : 01.04.2022).

25. Промышленная безопасность и охрана труда. Годовой отчет 2020 ПАО «ГМК «Норильский Никель» // nornickel.ru : [сайт]. — URL: https://ar2020.nornickel.ru/sustainable-development/health-safety (дата обращения : 07.07.2022).

26. Воробьев, Ю. Л. Основы формирования культуры безопасности жизнедеятельности населения // под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. — Москва : Деловой экспресс, 2006. — 316 с.

27. Травматизм и профессиональная заболеваемость при подземной добыче полезных ископаемых монография // Н. М. Качурин, В. И. Ефимов, Е. Б. Коклянов [и др.]. — Тула : изд-во ТулГУ, 2012. — 356 с.

28. ГОСТ Р 55271-2012 Системы менеджмента охраны труда. Рекомендации по применению при разработке и освоении инновационной продукции / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2014. — 40 с.

29. ГОСТ Р 12.0.010-2009 Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2011. — 20 с.

Поступила в редакцию 08.07.2022
Поступила после рецензирования 02.08.2022
Принята к публикации 02.08.2022

Об авторах:

Карначев Игорь Павлович, профессор кафедры строительства, энергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета (183010, РФ, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13), доктор технических наук, профессор, ORCID

Челтыбашев Александр Анатольевич, доцент кафедры строительства, энергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета (183010, РФ, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13), кандидат педагогических наук, ORCID, xu31@yandex.ru

Судак Светлана Николаевна, доцент кафедры техносферной безопасности Мурманского государственного технического университета (183010, РФ, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13), кандидат технических наук, ORCID, sudaksn@mstu.edu.ru

Заявленный вклад соавторов:

И. П. Карначев — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; А. А. Челтыбашев — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов; С. Н. Судак — обработка теоретического материала, разработка рекомендаций, корректировка текста, доработка выводов.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 311
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-32-36

Статистика пожаров как инструмент предотвращения чрезвычайных ситуаций

С. А. Хлебунов, К. В. Хохлова
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Известно, что одной из самых масштабных чрезвычайных ситуаций (ЧС) являются возгорания. Систематизировать и формализовать их причины можно только с учётом эффективного анализа статистических данных. Проблема заключается в отсутствии эффективных математических инструментов и методик, позволяющих использовать статистику возгораний как инструмент предотвращения ЧС. Решение данной проблемы актуально для науки и техники. На основании обозначенной проблемы сформулирована цель настоящего исследования, заключающаяся в анализе статистики пожаров и её формализации при прогнозировании ЧС.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является анализ состояния и причин пожаров, а также поиск инструмента их прогнозирования.
Теоретическая часть. Методологическим инструментарием решения обозначенной проблемы является использование методов множественного регрессионного и корреляционного анализа, позволяющих критеризировать и формализовать имеющуюся статистику пожаров. Установлено, что приемлемым параметром, характеризующим достоверность и тесноту связи эмпирических данных с их математической функцией применительно к поставленной задаче, является коэффициент корреляции.
Выводы. Доказано, что эффективным инструментом прогнозирования пожаров является использование линейных методов регрессионного анализа. Практическая значимость полученных результатов для науки и техники заключается в возможности создания цифровых инструментов прогнозирования и предотвращения ЧС, что позволит в значительной мере сократить ресурсозатраты на устранения их последствий.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, прогнозирование, модели прогнозирования.

Для цитирования: Хлебунов, С. А. Статистика пожаров как инструмент предотвращения чрезвычайных ситуаций / С. А. Хлебунов, К. В. Хохлова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 32–36. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-32-36

Original article

Fire Statistics as a Tool for Emergency Prevention

S. A. Khlebunov, K. V. Khokhlova
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. It is known that fires are one of the most large-scale emergencies. It is possible to systematize and formalize their causes only if you take into account the effective analysis of statistical data. The scientific problem lies in the lack of effective mathematical tools and techniques that allow the use of fire statistics as an emergency prevention tool. The solution of this problem is relevant for science and technology. Based on the identified problem, the purpose of this study is formulated, which consists in the analysis of fire statistics and its formalization in predicting emergencies.
Problem Statement. The objective of this study is to analyze the state and causes of fires, as well as to find a tool for their prediction.

Theoretical Part. The methodological tools for solving this problem are the use of multiple regression and correlation analysis methods that allow criticizing and formalizing the available fire statistics. It is established that an acceptable parameter characterizing the reliability and closeness of the connection of empirical data with their mathematical function in relation to the task is the correlation coefficient.

Conclusions. It is proved that an effective tool for predicting fires is the use of linear regression analysis methods. The practical significance of the results obtained for science and technology lies in the possibility of creating digital tools for predicting and preventing emergencies, which will significantly reduce resource costs for eliminating their consequences.

***Keywords*:** emergencies, forecasting, forecasting models.

For citation: Khlebunov S. A., Khokhlova K. V. Fire Statistics as a Tool for Emergency Prevention. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 32−36. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-32-36

Введение. Известно, что возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) является многофакторным процессом, зависящим от большого числа составляющих. Одной из наиболее часто возникающих категорий чрезвычайных ситуаций является возгорание. Возгорания, вне зависимости от объекта, приводят к существенным, а в некоторых случаях катастрофическим социально-экономическим и технологическим последствиям. На предотвращение и минимизацию подобных ситуаций направлена работа Государственной противопожарной службы МЧС России.

Ежегодно в открытых источниках публикуются сведения о возгораниях на промышленных и гражданских объектах [1–4]. Данная статистика носит предупредительный характер, поскольку позволяет оценить связи между некоторыми факторами, приводящими к возникновению ЧС. На основании анализа источников [1–4] удалось выявить следующие факторы, приводящие к возгораниям объектов: нарушение правил эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов, неисправность производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства, неосторожное обращение с огнем, шалость детей с огнем, нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ, взрывы, самовозгорание веществ и материалов, неисправность и нарушение правил эксплуатации печного отопления, поджоги и прочие неустановленные причины. Однако, несмотря на системность представляемой информации, отсутствуют инструменты, позволяющие её формализовать и построить вероятностный прогноз развития ЧС в текущих условиях. Данные прогнозы необходимы для обозначения значимости профилактических мероприятий с представлением ориентировочных социально-культурных убытков. На основании вышеизложенного считаем, что анализ статистики пожаров и её формализация является практически значимой, актуальной задачей как для промышленности, так и для гражданского населения.

Цель исследования — анализ статистики пожаров и её формализация при прогнозировании ЧС.

Постановка задачи. Представительными статистическими данными по числу возгораний являются значения, опубликованные в [1–4]. Данные материалы являются достоверными и имеют сходимость с результатами, опубликованными в [5–7].

Установлено, что перспективным инструментом формализации статистических данных является использование методов множественного регрессионного анализа, обобщённо суть которых можно представить с помощью математических коэффициентов, оценивающих величину достоверности функциональной аппроксимации некоторого массива данных. На основании анализа [8–10] установлено, что применительно к поставленной задаче наиболее рациональным является использование линейных регрессионных моделей вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i=1}^{k} b_{ij} x_i x_j, \qquad (1)$$

где b_0, b_i, b_{ii}, b_j — коэффициенты, характеризующие силу влияния свободных, линейных, квадратичных и парных эффектов взаимодействия математической модели; x_i x_j — факторы, силу влияния которых на рассматриваемый отклик демонстрирует математическая модель.

В качестве параметра, наиболее представительно характеризующего достоверность и тесноту связи эмпирических данных с их математической функцией, примем коэффициент корреляции. Практический опыт оценки достоверности статистических моделей с помощью коэффициента корреляции представлен в работах [11, 12]. Рассмотрим общие закономерности алгоритма использования коэффициента корреляции. Допустим наличие выборки объемом n из величин (x_1, y_1), (x_2, y_2),…, (x_n, y_n) с их совместным распределением, тогда коэффициент корреляции определим как:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\}^{1/2}\{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2\}^{1/2}}. \qquad (2)$$

Коэффициент корреляции между x и y оценивает эмпирическую меру линейной зависимости между ними. Причем $n\bar{x} = \sum x_i$, $n\bar{y} = \sum y_i$. Если перед всеми суммами поставить множители *1/(n-1)*,то r_{xy} позволит учитывать дисперсии и ковариацию с замененными их выборочными оценками. Однако применительно к поставленной задаче ограничимся представлением о численных значениях коэффициента корреляции относительно –1 и +1, где значение –1 говорит об отсутствии связи, а +1 — о наличии.

После выбора математического инструмента формализации статистики перейдём к анализу эмпирических данных, необходимых для построения вероятностных прогнозов. В таблице 1 представлены данные о пожарах в РФ за 2015–2020 годы, опубликованные в [1].

Таблица 1

Статистика возникновения пожаров в РФ за 2015-2020 годы

Год / Фактор ЧС	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2015	10228	25456	338	29243	1414	618	54	305	13502	1184	9376
2016	9034	25118	300	25828	1279	552	50	287	13683	1369	8761
2017	8296	24995	318	24255	1100	549	40	273	12912	1450	8056
2018	7698	25868	351	22668	1080	531	47	298	14087	1378	8009
2019	8814	25360	327	25498	1218	563	47	291	13546	1345	8551
2020	8296	24995	318	24255	1100	549	40	273	12912	1450	8056

Примечание к таблице: фактор возникновения ЧС: 1 — нарушение правил эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов; 2 — поджоги; 3 — неисправность производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства; 4 — неосторожное обращение с огнем; 5 — шалость детей с огнем; 6 — нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ; 7 — взрывы; 8 — самовозгорание веществ и материалов; 9 — неисправность и нарушение правил эксплуатации печного отопления; 10 — неустановленные; 11 — прочие причины.

Теоретическая часть. На рис. 1 представлено распределение числа возгораний в зависимости от года.

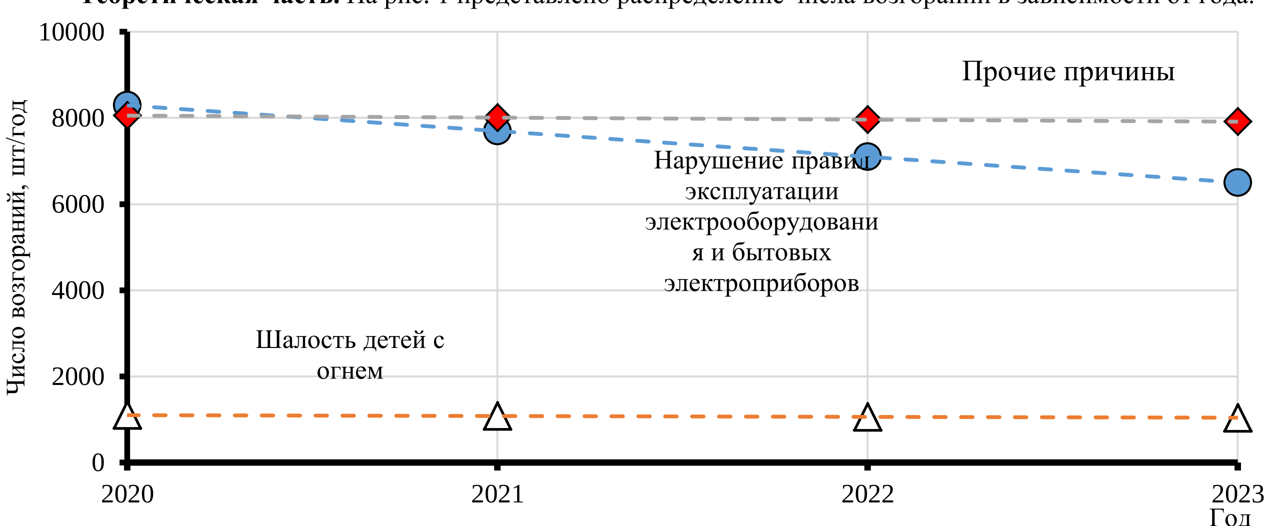


Рис. 1. Распределение числа возгораний в зависимости от года

Анализ представленной статистики позволил установить, что:

– линейная модель (3) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний от нарушения правил эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов при уровне статистической значимости α = 0,05:

$$y = -598{,}00x + 1\,216\,256{,}00, \qquad (3)$$

при этом коэффициент корреляции равен r = 1,0;

– линейная модель (4) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний от прочих причин при уровне статистической значимости α = 0,05:

$$y = -47x + 102\,996, \qquad (4)$$

при этом коэффициент корреляции равен r = 1,0;

– линейная модель (5) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний от шалости детей с огнем при уровне статистической значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = -20x + 41\,500, \quad (5)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$;

– линейная модель (6) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний неисправности производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства при уровне статистической значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = 33x - 66342, \quad (6)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$;

– линейная модель (7) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний неосторожного обращения с огнем при уровне статистической значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = -1\,587{,}00x + 3\,229\,995{,}00, \quad (7)$$

при этом коэффициент корреляции равен r = 1,0;

– линейная модель (8) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний нарушений правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ при уровне статистической значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = -18x + 36909, \quad (8)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$;

– линейная модель (9) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний при взрывах при уровне статистической значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = 7x - 14100, \quad (9)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$;

– линейная модель (10) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа самовозгораний веществ и материалов при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = 25x - 50227, \quad (10)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$.

– линейная модель (11) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний неисправности и нарушение правил эксплуатации печного отопления при уровне статистической значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = 1\,175{,}00x - 2\,360\,588{,}00, \quad (11)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$.

– линейная модель (12) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа не установленных возгораний при уровне статистической значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = -72x + 146\,890, \quad (12)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$.

– линейная модель (13) с достаточной степенью достоверности характеризует годовое распределение числа возгораний из-за поджогов при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$:

$$y = 873{,}00x - 1\,738\,465{,}00, \quad (13)$$

при этом коэффициент корреляции равен $r = 1{,}0$.

Выводы. Из вышесказанного можно заключить:

– на основании статистики с 2015 по 2020 годы установлено, что наибольшая доля возгораний приходится на поджоги и неосторожное обращение с огнем;

– доказано, что эффективным инструментом прогнозирования пожаров является использование линейных методов регрессионного анализа;

– формализация статистики пожаров с использованием линейных регрессионных моделей позволяет структурировать и цифровизировать имеющиеся массивы данных с точки зрения предъявляемых критериев;

– математическая структуризация статистики с точки зрения предъявляемых критериев позволяет использовать массивы данных в автоматизированном режиме.

Библиографический список

1. Реестр ЕМИСС / Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт // rosstat.gov.ru : [сайт]. — URL: https://rosstat.gov.ru/emiss (дата обращения : 23.03.2022).

2. Шабанов, Н. С. Анализ статистики пожаров на объектах здравоохранения, домах-интернатах в период 2016-2020 годов / Н. С. Шабанов, В. В. Малов // Техносферная безопасность в XXI веке. — 2021. — С. 228–231.

3. Анализ статистики пожаров с использованием математических и статистических методов / А. П. Дарманян, Н. М. Веселова, Д. Д. Нехорошев, В. П. Мороз // Безопасность жизнедеятельности. — 2019. — № 2 (218). — С. 53–58.

4. Козлова, А. С. Единая государственная система учета пожаров и их последствий как инструмент пожарной статистики / А. С. Козлова, Д. А. Чуйков, Г. И. Сметанкина // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидаций последствий чрезвычайных ситуаций. — 2019. — № 1 (10). — С. 153–155.

5. Мордвиненко, С. Е. Экспресс-метод оценки соответствия объекта надзора требованиям пожарной безопасности / С. Е. Мордвиненко, А. В. Ершов, Д. С. Пикуш // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 4. — С. 29–35. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-29-35

6. Егельская, Е. В. Аспекты применения риск-ориентированного подхода на опасных производственных объектах / Е. В. Егельская, М. Ю. Романенко // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 4. — С. 45–49. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-45-49

7. Система адаптивного дистанционного мониторинга и контроля эксплуатации опасных объектов на основе риск-ориентированного подхода / А. В. Панфилов, О. А. Бахтеев, В. В. Дерюшев, А. А. Короткий // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 2. — С. 19–29. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-19-29

8. Венцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. — Москва : Советское радио, 1976. — 552 с.

9. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. — Москва : Статистика, 1974. — 192 с.

10. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: уч. пособие ля ВУЗов / В. Е. Гмурман. — Москва : Высшая школа. — 2003. — 479 с.

11. Санковец, А. А. Математический анализ использования производственных мощностей предприятия с применением корреляционно-регрессионного анализа (на примере ООО «Угольный разрез») / А. А. Санковец, И. С. Резуваева // Вектор экономики. — 2021. — № 3 (57).

12. Статистический анализ размерных характеристик пыли, образующейся при механической обработке металлов / Н. Н. Азимова, Е. Н. Ладоша, С. Н. Холодова [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. — 2020. — № 1(20). — С. 68–78. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-68-78

Поступила в редакцию 19.05.2022
Поступила после рецензирования 05.06.2022
Принята к публикации 05.06.2022

Об авторах:

Хлебунов Сергей Анатольевич, декан факультета «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, shlebunov@yandex.ru

Хохлова Кристина Владимировна, студент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, cristy2020@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

С. А. Хлебунов — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; К. В. Хохлова — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 614.842.4
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-37-47

Обстановка с пожарами и эффективность срабатывания систем пожарной сигнализации на объектах судоходства

А. А. Порошин, В. Л. Здор, Н. В. Семененко, И. В. Волков
Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (г. Балашиха, Российская Федерация)

Введение. Судоходство, как одна из инфраструктурных транспортных коммуникаций, является стратегической отраслью экономики Российской Федерации. От надежности функционирования объектов судоходства зависит своевременная поставка товаров, оборудования, материалов и сырья потребителям. Поэтому обеспечение безопасности, предотвращение техногенных и природных деструктивных событий являются актуальными и приоритетными задачами владельцев таких объектов. Среди происшествий, которые могут нанести значительный как прямой, так и косвенный ущерб, самыми опасными являются пожары. В этой связи для принятия управленческих решений по обеспечению пожарной безопасности необходимо знать обстановку с пожарами, представлять их социальные и экономические последствия, уметь определять возможные причины для возникновения пожаров как на объектах строительной инфраструктуры (судоверфи, доки, портовые сооружения), так и на плавсредствах. При этом важной составляющей при принятии таких решений является исследование эффективности срабатывания пожарной сигнализации, как первичного элемента в общих технологических системах пожарной автоматики, монтируемых на объектах судоходства.

Постановка задачи. Задачей исследования является анализ причин возникновения пожаров и работы систем пожарной сигнализации на объектах судоходства.

Теоретическая часть. На основе статистических данных о пожарах и их последствиях за 2017–2021 годы проанализированы социальные (количество погибших и травмированных людей) и экономические (прямой материальный ущерб) последствия пожаров на судоверфях, портовых сооружениях, плавсредствах (судна, катера, лодки) и в доках. Даны оценки эффективности срабатывания систем пожарной сигнализации на объектах судоходства.

Выводы. Эффективность срабатывания систем пожарной сигнализации на всех объектах судоходства находится в среднем на уровне 90 %. При этом для морских и речных судов эта цифра составляет порядка 82 %, для портовых сооружений — почти 100 %. Но несмотря на столь высокий уровень срабатывания систем пожарной сигнализации, социальных и материальных последствий пожаров избегать не удается. Кроме того, следует отметить, что больше всего пожаров происходит на объектах судоходства, находящихся в частной собственности. На судоверфях, портовых сооружениях и в доках пожары на объектах частной собственности составляют 71 % от общего числа пожаров. На частных морских и речных судах доля пожаров достигает 90 %.

Ключевые слова: объекты судоходства, пожар, статистические данные, прямой материальный ущерб, пожарная сигнализация, эффективность срабатывания.

Для цитирования: Обстановка с пожарами и эффективность срабатывания систем пожарной сигнализации на объектах судоходства / А. А. Порошин, В. Л. Здор, Н. В. Семененко, И. В. Волков // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 37–47. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-37-47

Original article

Situation with Fires and the Effectiveness of Fire Alarm Systems at Shipping Facilities

A. A. Poroshin, V. L. Zdor, N. V. Semenenko, I.V. Volkov

All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Balashikha, Russian Federation)

Introduction. Shipping, as one of the infrastructural transport communications, is a strategic branch of the economy of the Russian Federation. The timely delivery of goods, equipment, materials and raw materials to consumers depends on the reliability of shipping facilities operation. Therefore, ensuring safety, preventing man-made and natural destructive events are urgent and priority tasks of the owners of such facilities. Among the incidents that can cause significant direct and indirect damage, the most dangerous are fires. In this regard, in order to make management decisions on fire safety, it is necessary to know the situation with fires, to understand their social and economic consequences, to be able to identify possible causes for fires both at construction infrastructure facilities (shipyards, docks, port facilities) and on watercraft. At the same time, an important component in making such decisions is the study of the effectiveness of the fire alarm as a primary element in the general technological systems of fire automation on shipping facilities.

Problem Statement. The objective of the study is to analyze the causes of fires and the operation of fire alarm systems at shipping facilities.

Theoretical Part. Based on statistical data on fires and their consequences for 2017-2021, the social (the number of dead and injured people) and economic (direct material damage) consequences of fires at shipyards, port facilities, watercraft (ships, boats, vessels) and docks are analyzed. Estimates of the effectiveness of fire alarm systems at shipping facilities are given.

Conclusions. The efficiency of fire alarm systems at all shipping facilities is on average at the level of 90%. At the same time, for sea and river vessels, this figure is about 82%, for port facilities it is almost 100%. But despite such a high level of fire alarm systems, it is not possible to avoid social and material consequences of fires. In addition, it should be noted that most fires occur at shipping facilities that are privately owned. At shipyards, port facilities and docks, fires on private property account for 71% of the total number of fires. On private sea and river vessels, the proportion of fires reaches 90%.

Keywords: shipping facilities, fire, statistical data, direct material damage, fire alarm, response efficiency.

For citation: Poroshin A. A., Zdor V. L., Semenenko N. V., Volkov I. V. Situation with Fires and the Effectiveness of Fire Alarm Systems at Shipping Facilities. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 37−47. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-37-47

Введение. Указом президента Российской Федерации утверждены основы государственной политики страны в области пожарной безопасности [1]. Сформулированы новые подходы к профилактике и предупреждению пожаров, к защите жизни и здоровья людей, сохранению материальных ценностей. Одной из стратегических задач государственной политики является задача определения пожарных рисков на различных объектах защиты. С учетом таких оценок осуществляются мероприятия по формированию нормативных требований к системе обеспечения пожарной безопасности различных объектов защиты. К последним, в частности, относятся объекты судоходства, в том числе здания (сооружения), входящие в состав его инфраструктуры, а также подвижные морские и речные транспортные средства. Важной составляющей в оценке пожарного риска является определение эффективности срабатывания различных систем противопожарной защиты, в частности систем пожарной сигнализации (СПС). Применение работоспособных и эффективных СПС на объектах защиты позволяет обеспечить своевременное включение системы оповещения и управления эвакуацией людей, системы автоматического пожаротушения и дымоудаления, а также передачу информации о возгорании в подразделения пожарной охраны. Эффективное функционирование СПС напрямую связано с повышением уровня безопасности людей и значительным снижением материальных потерь при пожаре. Исследование пожарных рисков на объектах судоходства позволяет определить сумму требований по

противопожарной защите при заключении с собственниками объектов судоходства договоров страхования, а также соответствующие страховые тарифы и скидки (надбавки) по ним.

В этой связи для оценки пожарного риска на объектах судоходства необходимо проанализировать обстановку с пожарами, определить их социальные (количество погибших и травмированных людей) и экономические (прямой материальный ущерб) последствия, а также причины возникновения возгораний. Кроме этого, требуется еще исследовать эффективность срабатывания СПС, являющейся первичным исполнительным элементом автоматизированных систем управления противопожарной защитой [2–3]. Оценка эффективности срабатывания СПС на различных объектах защиты приведена в публикациях [4–5], в них представлены методы и критерии получения данных оценок, а также определения социальных и экономических последствий пожаров.

Постановка задачи. В работе [5] даны результаты исследования эффективности срабатывания СПС на различных объектах защиты. Однако данное исследование проведено без детального анализа обстановки с пожарами на рассмотренных объектах защиты, а также без сопоставления данных о срабатывании СПС и последствиях пожаров. Не определены особенности инфраструктуры исследуемых объектов защиты. Исходя из этого, представляется целесообразным дать оценку эффективности функционирования СПС с учетом складывающейся обстановки с пожарами и их последствиями. Такие исследования проведены на основании данных по объектам судоходства.

Теоретическая часть и результаты исследования. Для анализа обстановки с пожарами на объектах судоходства использована статистическая информация федеральной государственной информационной системы «Федеральный банк данных «Пожары» [6]. Рассмотрены следующие объекты судоходства: здания и сооружения инфраструктуры (судоверфь, док, портовое сооружение), транспортные средства (морское, речной судно, лодка, катер). Для анализа взяты данные за 2017–2021 годы. Выборка проводилась по каждому году, и определялись средние значения изучаемого показателя за пятилетний период.

При учете социальных последствий пожаров исследовался показатель (*S*) — количество пострадавших (погибших и травмированных) в расчете на один пожар (чел/ед). Расчет производился по формуле:

$$S=\frac{N_{гиб}+N_{трм}}{N_{пож}}, \qquad (1)$$

где $N_{пож}$ — количество пожаров за рассматриваемый период на рассматриваемом типе объектов (ед.);

$N_{гиб}$ — количество погибших за рассматриваемый период на рассматриваемом типе объектов (чел.);

$N_{трм}$ — количество травмированных за рассматриваемый период на рассматриваемом типе объектов (чел.).

Соответственно, учет материальных потерь от пожаров осуществлялся с использованием показателя (*M*) — прямой материальный ущерб от пожаров в расчете на один пожар (млн руб/ед). Расчет показателя (*M*) производился по формуле:

$$M=\frac{Т_{пож}}{N_{пож}}, \qquad (2)$$

где $Т_{пож}$ — прямой материальный ущерб от пожаров за рассматриваемый период на рассматриваемом типе объектов (млн руб.).

Метод, критерии и соответствующие расчетные зависимости по оценкам эффективности СПС при различных режимах ее функционирования и по последствиям пожаров приведены в публикации [4]. Предложенный подход к определению эффективности СПС основан на статистических данных.

Получены следующие результаты анализа обстановки с пожарами и оценки эффективности СПС на объектах судоходства (рис. 1).

Как видно на рисунке, за анализируемый период наибольшее количество пожаров произошло на транспортных средствах (морские и речные судна). Согласно данным, приведенным на рис. 2, количество пострадавших (погибших и травмированных) на пожарах в расчете на один пожар (1) распределено по транспортным средствам приблизительно одинаково и составляет в среднем 0,153 чел/ед.

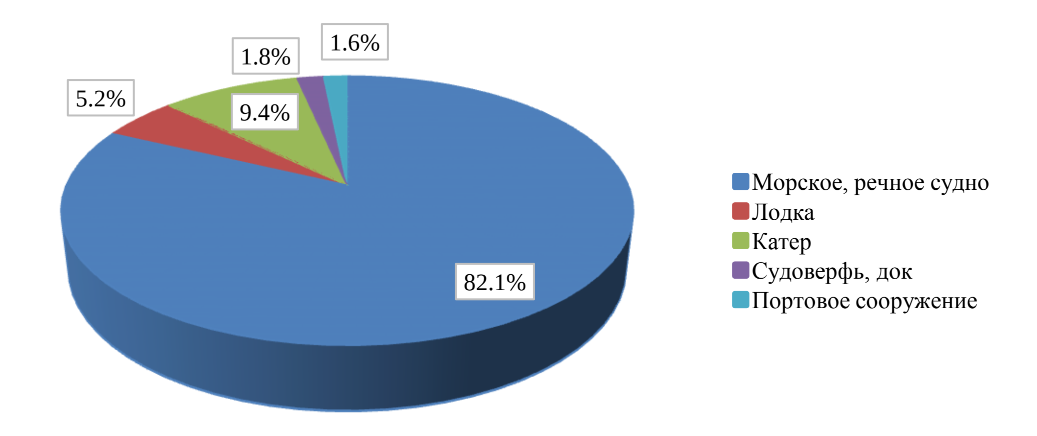


Рис. 1. Распределение количества пожаров по объектам судоходства (процент от общего числа)

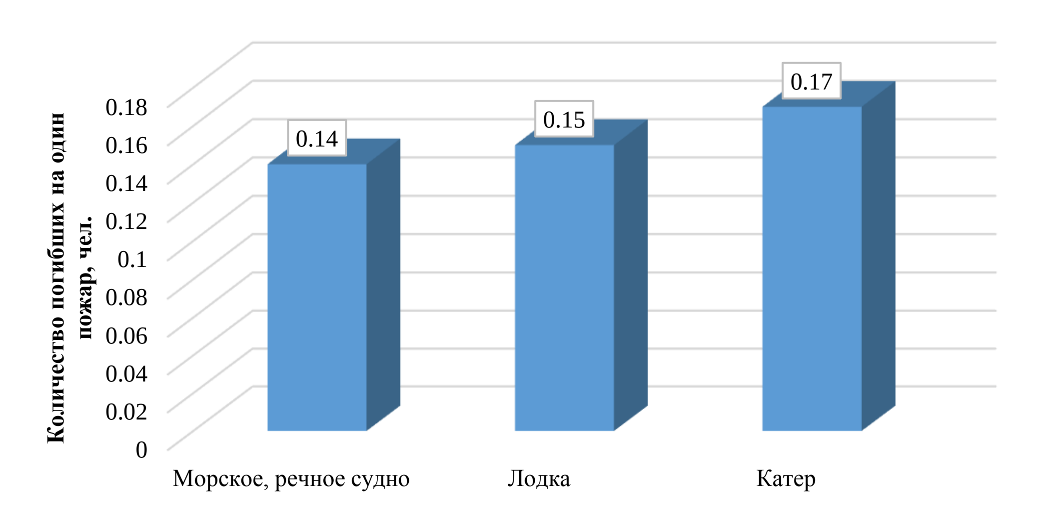


Рис. 2. Количество пострадавших (погибших и травмированных) в расчете на один пожар на транспортных средствах судоходства, чел/ед

Наибольший прямой материальный ущерб в расчете на один пожар зарегистрирован на морских и речных судах (рис. 3). В среднем он составляет 1295 тыс. руб. на один пожар. Соответственно, наименьший прямой ущерб зарегистрирован на пожарах в портовых сооружениях — 39 тыс. руб. в расчете на пожар, на судоверфях и в доках — 9 тыс. руб. в расчете на один пожар.

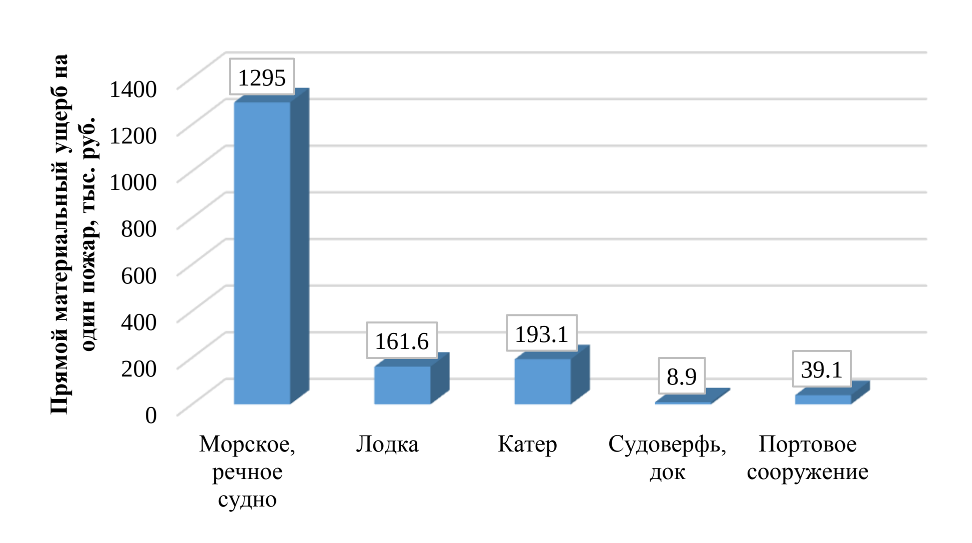


Рис. 3. Прямой материальный ущерб в расчете на один пожар, тыс. руб/ед

Исследование причин возникновения пожаров на объектах судоходства дало следующие результаты. На рис. 4 приведены данные о пожарах, произошедших на морских и речных судах, их причинах. Больше всего пожаров возникло по причине нарушения правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных и огневых работ (24,5 %), из-за неосторожного обращения с огнем (19 %) и нарушений правил установки и эксплуатации (НПУиЭ) электрооборудования (17,9 %).

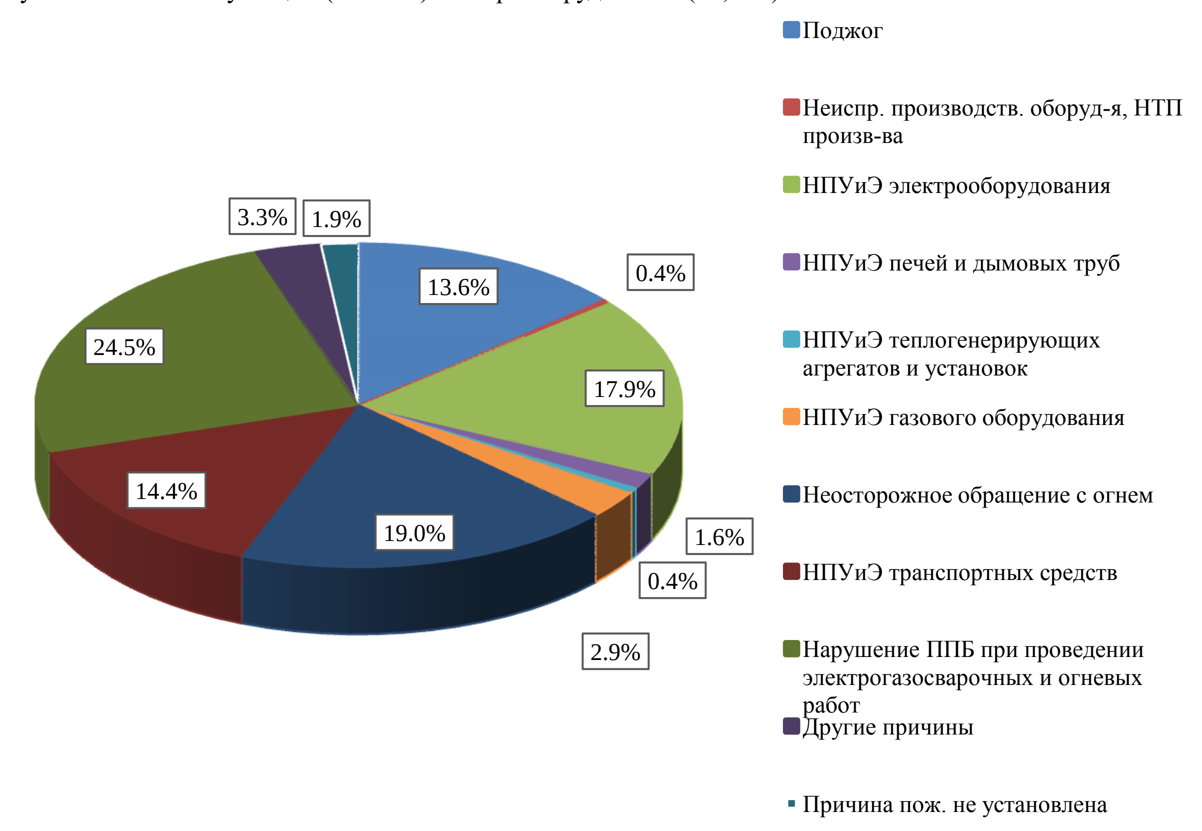


Рис. 4. Количество пожаров, произошедших на морских и речных судах, их причины, %

Как видно на рис. 5, на пожарах, произошедших на морских и речных судах, больше всего гибнет людей из-за неосторожного обращения с огнем (41,2 %), а также по неустановленной причине (29,4 %). Травмирование людей на пожарах чаще всего происходит из-за нарушений эксплуатации транспортных средств (29,6 %) и эксплуатации электрооборудования (16,7 %) (рис. 6). Наибольший прямой ущерб от пожаров на морских и речных судах был нанесен по причине нарушения правил эксплуатации и установки электрооборудования — более 81 % от общего объема прямого ущерба (рис. 7).

Анализ пожаров на портовых сооружениях, судоверфях и в доках показал следующее: больше всего пожаров происходило из-за нарушений правил эксплуатации и установки электрооборудования (35,3 %) и из-за неосторожного обращения с огнем (23,5 %) (рис. 8).

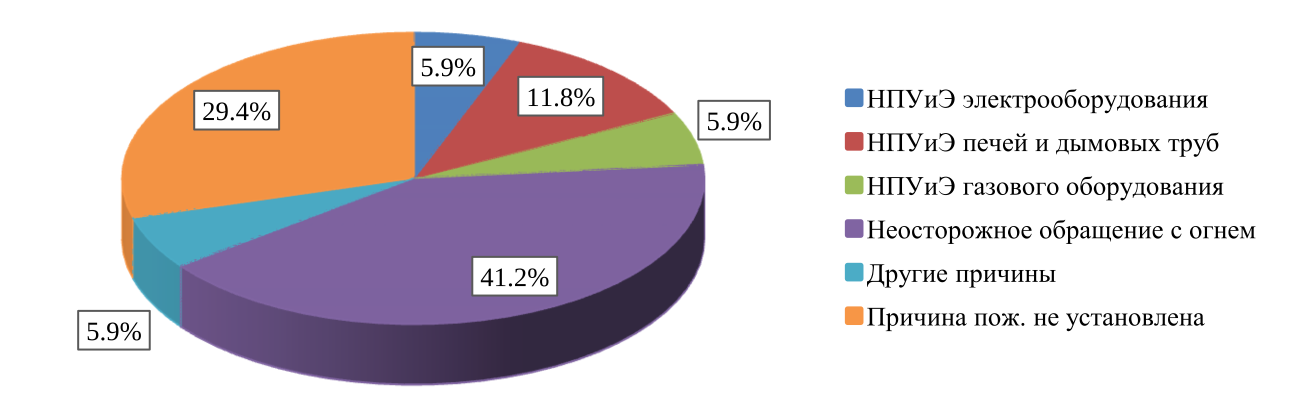


Рис. 5. Количество погибших на пожарах, произошедших на морских и речных судах, их причины, %

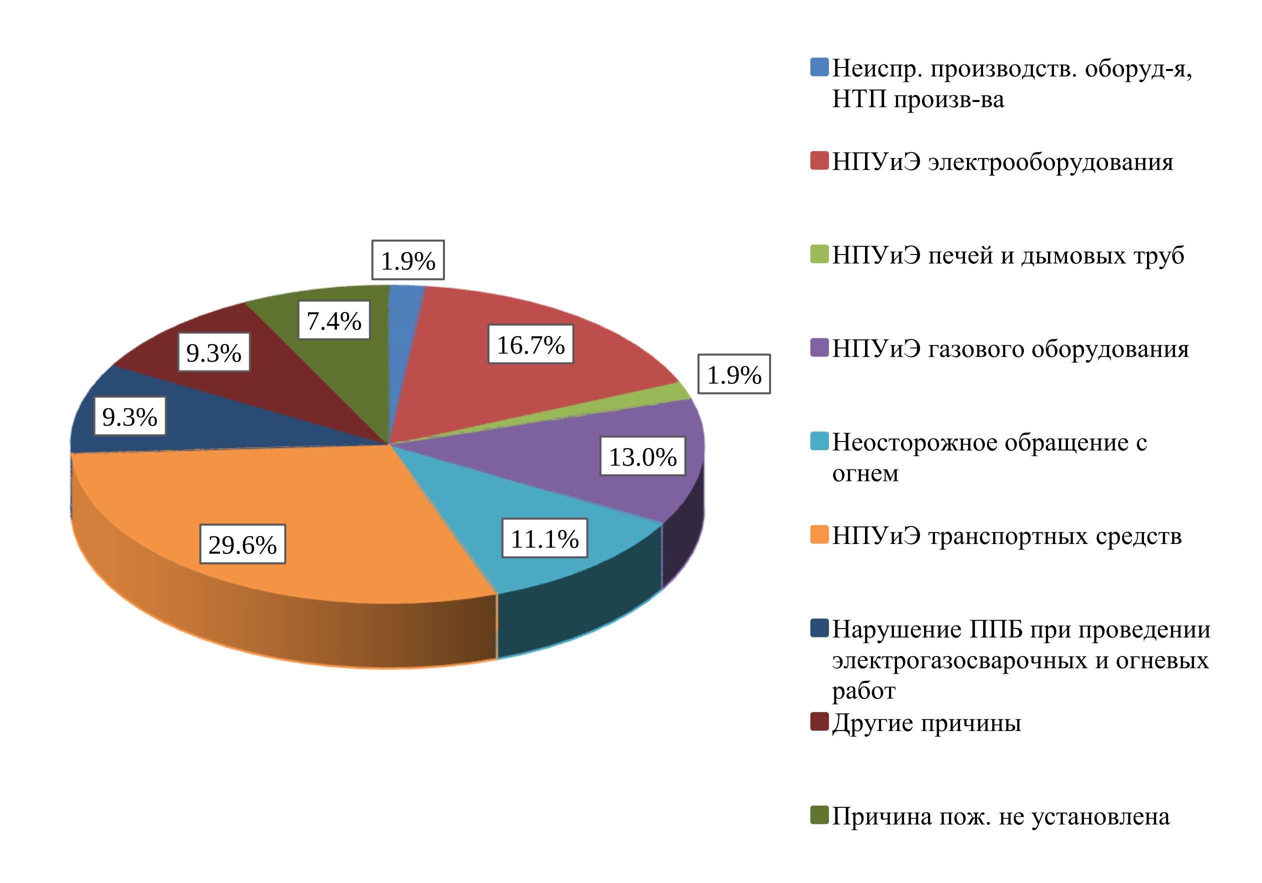


Рис. 6. Количество травмированных людей на пожарах, произошедших на морских и речных судах, их причины, %

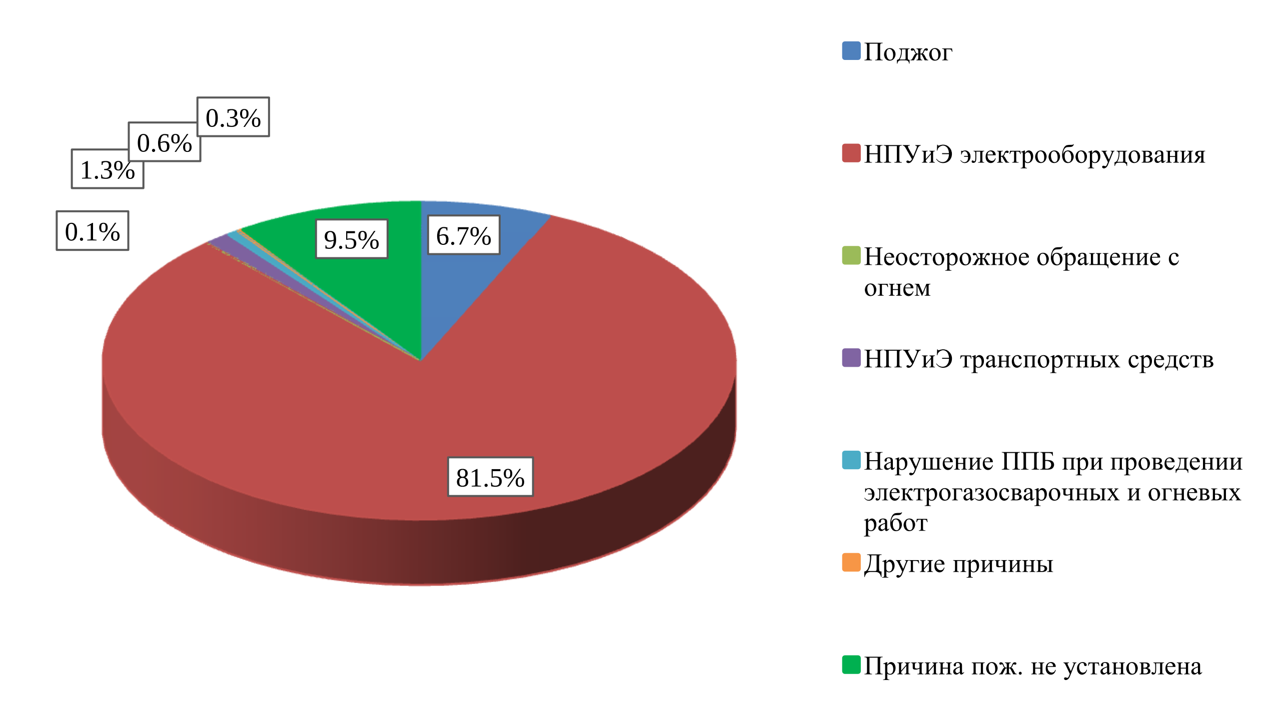


Рис. 7. Прямой ущерб от пожаров, произошедших на морских и речных судах, их причины, %

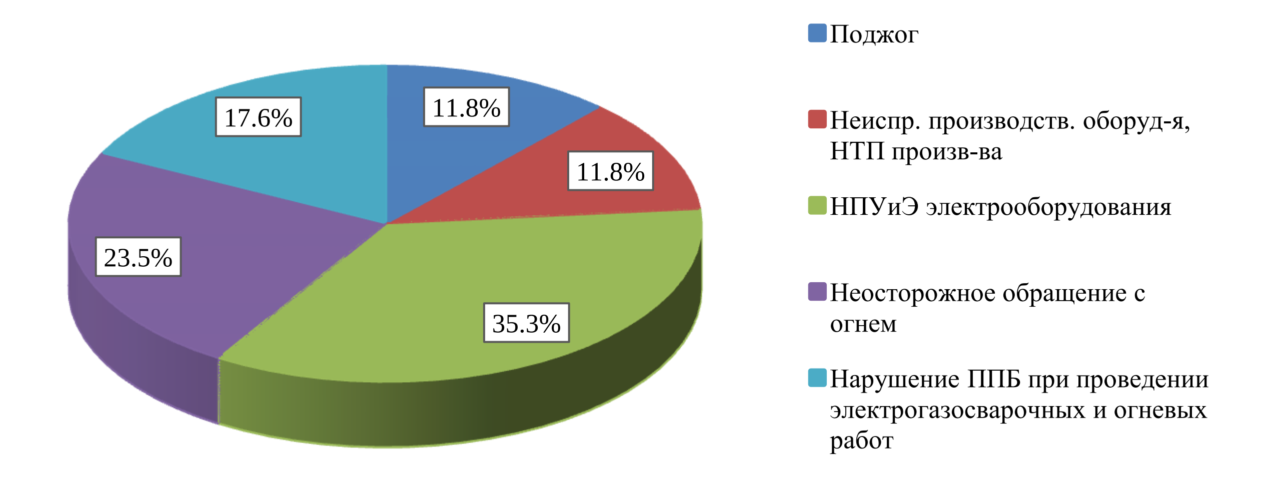


Рис. 8. Количество пожаров, произошедших на портовых сооружениях, на судоверфях и в доках, их причины, %

Для целей страхования значительный интерес представляют исследования обстановки с пожарами с точки зрения форм собственности объектов судоходства. Интерес к такого рода исследованиям связан с тем, что с 2016 года в стране начал внедряться риск-ориентированный подход к системе организации проверок надзорными органами, когда строгость осуществления контрольных мероприятий стала зависеть от категории риска проверяемых субъектов, что несомненно повлияло на выполнение собственниками требований по обеспечению пожарной безопасности объектов защиты [7].

Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на объектах судоходства по формам собственности (федеральная, собственность субъекта РФ, муниципальная, частная) показал следующее. На рис. 9 видно, что больше всего пожаров происходит на объектах судоходства, находящихся в частной собственности. На портовых сооружениях, судоверфях и в доках пожары на объектах частной собственности составляют 71 % от общего числа пожаров, а на морских и речных судах доля таких пожаров достигает 90 %.

На морских и речных судах больше всего погибших в расчете на один пожар наблюдается на объектах иной (не частной) формы собственности — 0,08 чел. на один пожар при 0,03 чел. на пожар для объектов частной собственности (рис. 10). Число травмированных в расчете на один пожар на объектах частной собственности составляет 0,11 чел. на пожар при 0,13 чел. на пожар на объектах иных видов собственности.

На рис. 11 приведены данные о распределении материальных последствий пожаров на объектах судоходства в зависимости от видов их собственности. Наибольший прямой ущерб в расчете на один пожар на морских и речных судах нанесен объектам частной собственности, тогда как на объектах иных форм собственности этот ущерб в 17 раз меньше.

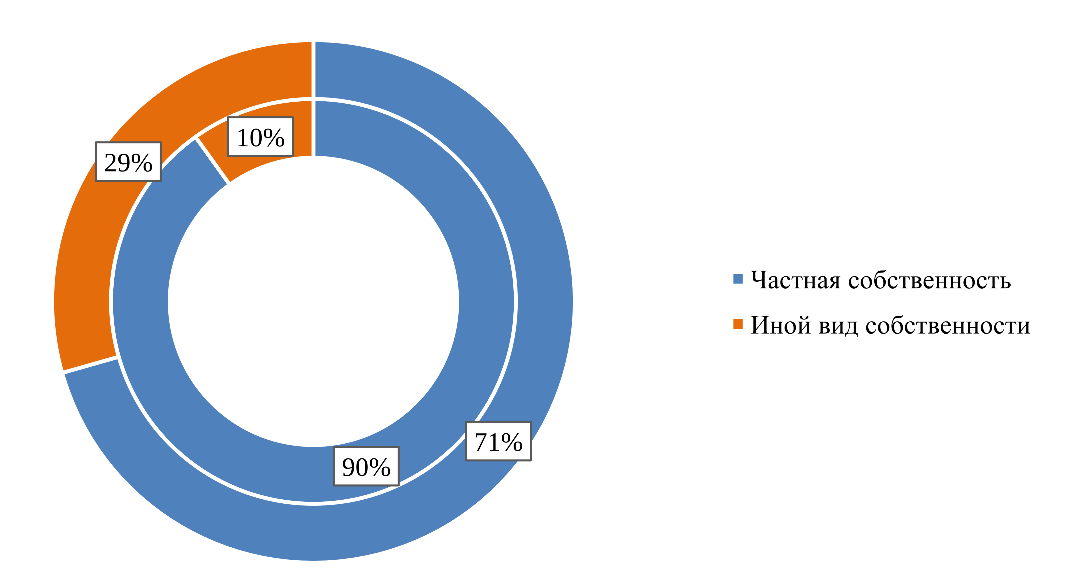


Рис. 9. Количество пожаров, произошедших на портовых сооружениях, судоверфях и в доках (*внешняя диаграмма*), на морских и речных судах (*внутренняя диаграмма*), в зависимости от формы их собственности

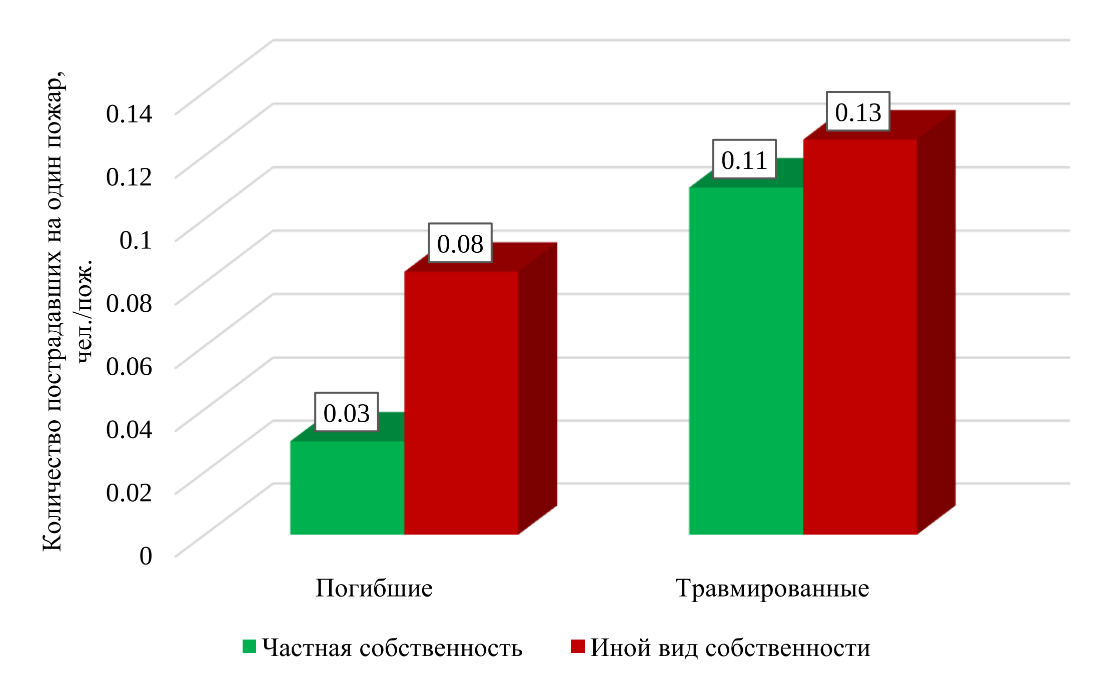


Рис. 10. Количество погибших и травмированных людей на пожарах, произошедших на морских и речных судах, в зависимости от формы собственности

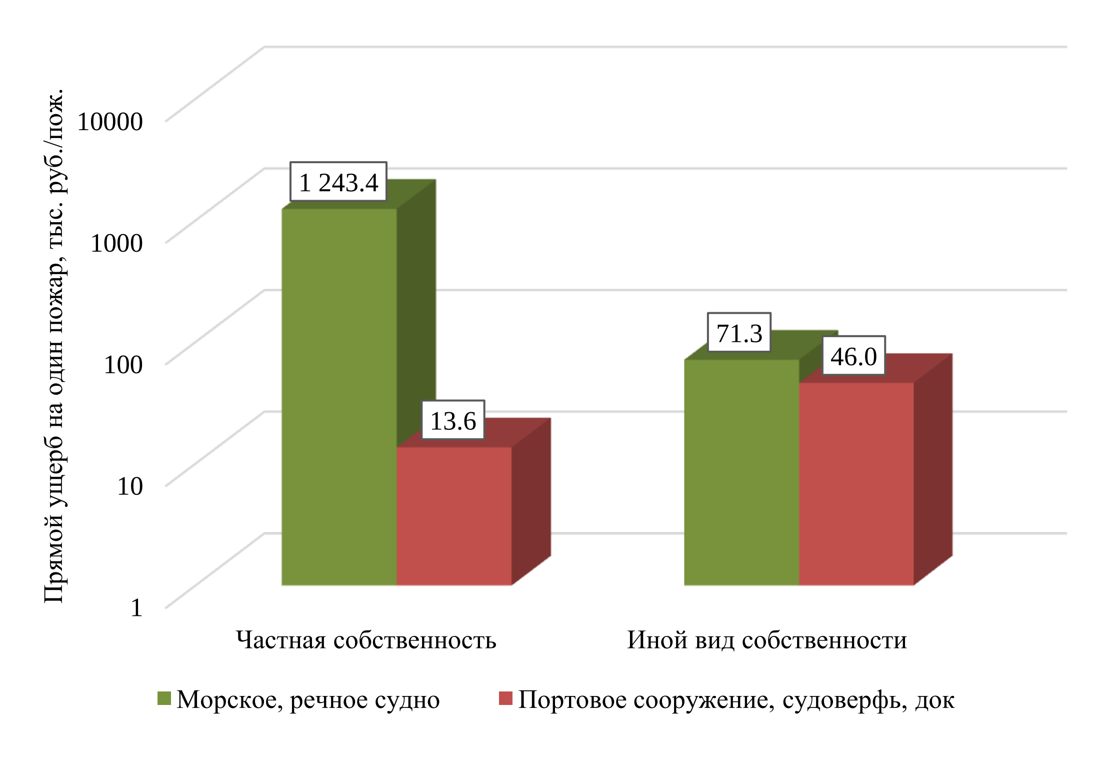


Рис. 11. Прямой ущерб в расчете на один пожар на объектах судоходства в зависимости от их формы собственности (*по оси ординат использован логарифмический масштаб)*

Как отмечалось ранее, основой построения систем противопожарной защиты являются СПС — первичные исполнительные элементы, от надежности срабатывания которых зависит включение других систем пожарной автоматики, предназначенных для обеспечения безопасности людей и выполнения функций пожаротушения. Результаты оценок эффективности срабатывания СПС на объектах судоходства приведены на рис. 12. Как видно на диаграмме, эффективность срабатывания СПС на морских и речных судах составляет 82 %, на портовых сооружениях достигает 100 %.

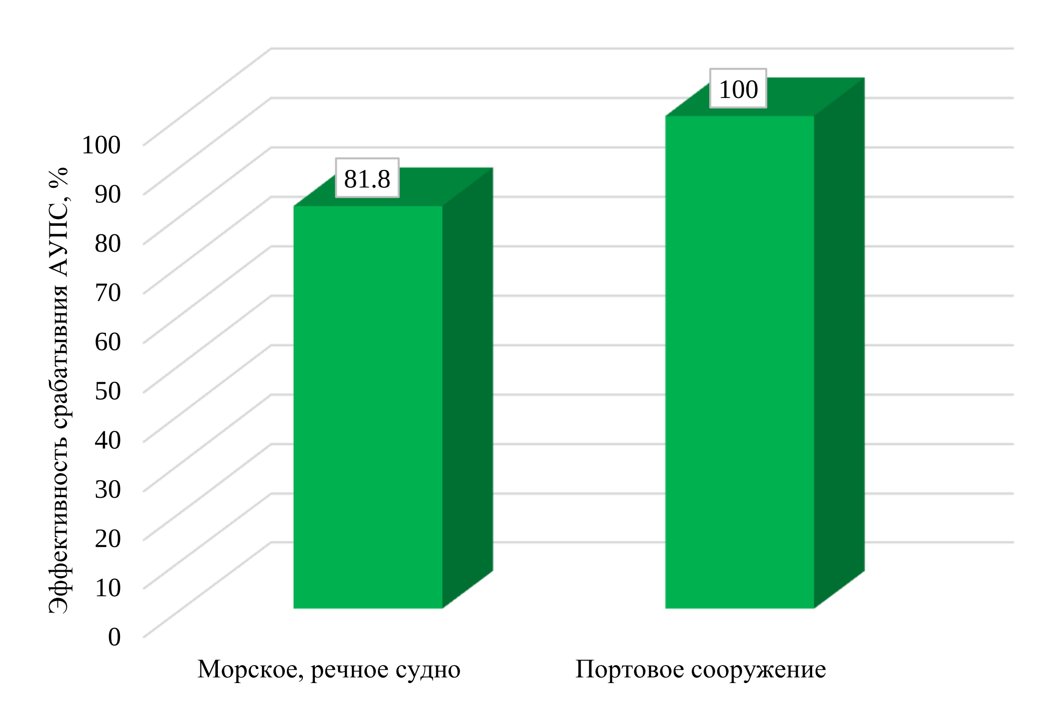


Рис. 12. Эффективность срабатывания СПС на объектах судоходства

Следует отметить, что при столь высоком уровне срабатывания СПС, по данным анализа последствий пожаров (рис. 3, 5–7), все же наблюдаются значительные социальные и материальные потери от возгораний на

объектах судоходства, что может быть связано с низкой эффективностью функционирования других систем автоматической противопожарной защиты, таких как система оповещения и управления эвакуацией людей, противодымная вентиляция, установка автоматического пожаротушения.

Выводы. Исследование статистических данных по пожарам и их последствиям на объектах судоходства за 2017–2021 годы показало следующее. За это время пожары возникали в основном на морских и речных судах. Наибольший прямой материальный ущерб от пожаров (1 295 тыс. руб. в расчете на один пожар) также зарегистрирован на морских и речных судах.

Основными причинами пожаров, произошедших на морских и речных судах, являются нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных и огневых работ (24,5 % от общего числа пожаров), неосторожное обращение с огнем (19 %) и нарушение правил эксплуатации и установки электрооборудования (17,9 %). На судоверфях, портовых сооружениях и в доках пожары чаще всего возникали из-за нарушений правил установки и эксплуатации электрооборудования (35,3 %), неосторожного обращения с огнем (23,5 %). На данных объектах судостроения наблюдается достаточно высокий уровень поджогов (11,8 %).

Исследование также показало, что больше всего пожаров происходит на объектах судоходства, находящихся в частной собственности. На объектах частной собственности в портовых сооружениях, на судоверфях и в доках они составляют 71 % от общего числа пожаров, а на морских и речных судах доля таких пожаров достигает 90 %.

Эффективность срабатывания СПС на объектах судоходства значительная. Для морских и речных судов она составляет почти 82 %, для портовых сооружений — 100 %. Все же при столь высоком уровне срабатывания систем пожарной сигнализации отмечаются социальные и материальные последствия возгораний.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 01.01.2018 № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года» / КонсультантПлюс : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286888/ (дата обращения : 02.04.2022).

2. Общесистемные решения и функциональная структура автоматизированной системы управления противопожарной защитой промышленного объекта / А. В. Федоров, А. А. Лукьянченко, А. М. Алешков, Н. Н. Ломаев // Технологии техносферной безопасности. — 2010. — № 3 (31). — С. 89–91.

3. Топольский, Н. Г. Модель оценки обеспечения комплексной безопасности в АСУТП с применением диагностики пожарных извещателей для построения автоматизированных систем поддержки управления пожаровзрывобезопасностью / Н. Г. Топольский, И. В. Самарин, А. Ю. Строгонов // Пожаровзрывобезопасность. — 2018. — № 27 (11). — С. 15–22.

4. Порошин, А. А. Оценка эффективности срабатывания систем пожарной сигнализации на объектах промышленности за период 2016–2020 гг. / А. А. Порошин, А. А. Кондашов, В. И. Сибирко // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 4. — С. 32–37.

5. Состояние систем пожарной сигнализации на объектах защиты в период с 2016 по 2020 год / А. А. Порошин, А. А. Кондашов, В. И. Сибирко, В. С. Гончаренко // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 3. — С. 40–46. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-40-46

6. Приказ МЧС России от 24.12.2018 № 625 «О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий» / КонсультантПлюс : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_317860/ (дата обращения : 31.06.2022).

7. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 года № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственно контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» / КонсультантПлюс : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/-cons_doc_LAW_203819/ (дата обращения : 01.04.2022).

Поступила в редакцию 03.07.2022
Поступила после рецензирования 29.07.2022
Принята к публикации 29.07.2022

Об авторах:

Порошин Алексей Александрович, начальник отдела автоматической пожарной сигнализации Научно-исследовательского центра автоматических установок обнаружения и тушения пожаров Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12), кандидат технических наук, ORCID, poroshinjob@yandex.ru

Здор Владимир Леонидович, старший научный сотрудник отдела автоматической пожарной сигнализации Научно-исследовательского центра автоматических установок обнаружения и тушения пожаров Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12), zdor_vl@list.ru

Семененко Наталья Викторовна, научный сотрудник отдела автоматической пожарной сигнализации Научно-исследовательского центра автоматических установок обнаружения и тушения пожаров Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12), ORCID, nata.semenenko.74@mail.ru

Волков Иван Викторович, научный сотрудник отдела автоматической пожарной сигнализации Научно-исследовательского центра автоматических установок обнаружения и тушения пожаров Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12), ivvolkov89@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. А. Порошин — формирование концепции статьи, цели и задач исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; В. Л. Здор — подготовка литературных источников, проведение и анализ результатов расчетов; Н. В. Семененко — подготовка текста и исходных данных для расчетов; И. В. Волков — подготовка литературных источников и исходных данных для расчетов.

МАШИНОСТРОЕНИЕ







Научная статья
УДК 62-768
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-48-53

О контроле прочности металла конструктивных элементов плавучих кранов

Н. Л. Вернези, В. А. Русаков
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Статья посвящена вопросам неразрушающего контроля механических характеристик металлических элементов конструкций грузоподъемных кранов. Надежность грузоподъемных кранов во многом определяет их безопасность. Анализируются основные проявления эксплуатационных отказов плавучих кранов на примере крана УМК-2. Отмечается, что 27 % отказов происходит по причине потери прочности металла их конструктивных элементов. Определение причин таких отказов возможно с помощью проведения неразрушающего контроля механических характеристик металла отказывающих элементов конструкции. Приводится принцип одного из методов неразрушающего контроля прочности, основанного на ударном внедрении в исследуемый металл конического индентора с последующим анализом промежуточных параметров этого внедрения. Даются результаты измерений механических характеристик металла, деформированного в процессе эксплуатации раскоса стрелы плавучего крана. Текущие измеряемые значения механических характеристик металла, получаемые в различных точках раскоса, обрабатываются на соответствие трехпараметрическому закону Вейбулла для получения минимальных значений этих характеристик. В результате такой обработки констатируется, что минимальные значения пределов текучести и прочности, относительного удлинения ниже заявляемых конструкторской документацией на кран. Это может являться одной из причин деформации элемента конструкции при эксплуатации.

Постановка задачи. Рассмотрено применение метода неразрушающего контроля металла раскоса стрелы с целью оценки механических характеристик и установления возможных причин его деформирования при анализе эксплуатационной надежности крана.

Теоретическая часть. При выявлении возможных причин деформации или разрушении стальных элементов крановых конструкций предложено применять метод неразрушающего контроля механических характеристик, основанный на ударном внедрении конического индентора в испытуемую поверхность. Далее предложено полученную выборку значений измеряемой характеристики обрабатывать на соответствие трехпараметрическому закону Вейбулла для оценки параметра сдвига или минимального значения этой характеристики.

Выводы. Получены минимальные значения пределов прочности, текучести и относительного удлинения металла деформированного раскоса стрелы крана УМК-2 на основе применения метода неразрушающего контроля с последующей аппроксимацией статистической информации законом распределения Вейбулла. Сделано заключение о пониженных прочностных характеристиках металла относительно заявленных в технической документации, которые могли стать причиной деформирования элемента стрелы крана.

Ключевые слова: надежность, механические характеристики, грузоподъемные краны, неразрушающий контроль.

Для цитирования: Вернези, Н. Л. О контроле прочности металла конструктивных элементов плавучих кранов / Н. Л. Вернези, В. А. Русаков // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 48–53. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-48-53

Original article

On the Control of Metal Strength of Structural Elements of Floating Cranes

N. L. Vernezi, V. A. Rusakov
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The article is devoted to the issues of non-destructive testing of mechanical characteristics of metal structural elements of cranes. The reliability of cranes largely determines their safety. The main manifestations of operational failures of floating cranes are analyzed on the example of the UMK-2 crane. It is noted that 27% of failures occur due to the loss of metal strength of their structural elements. Determination of the causes of such failures is possible by conducting non-destructive testing of the mechanical characteristics of the failing structural elements metal. The paper provides the principle of one of the methods of non-destructive strength control based on the impact insertion of a conical indenter into the metal under study with the subsequent analysis of the intermediate parameters of this insertion. The results of measurements of the mechanical characteristics of the metal deformed during the operation of the boom strut of a floating crane are given. The current measured values of the mechanical characteristics of the metal obtained at various points of the strut are processed for compliance with the three-parameter Weibull law to obtain the minimum values of these characteristics. As a result of such processing, it is stated that the minimum values of yield strength, strength and elongation are lower than those claimed by the design documentation for the crane. This may be one of the reasons for the deformation of the structural element during operation.

Problem Statement. The application of the method of non-destructive testing of the metal of the boom strut is considered in order to assess the mechanical characteristics and establish possible causes of its deformation when analyzing the operational reliability of the crane.

Theoretical Part. When identifying possible causes of deformation or destruction of steel elements of crane structures, it is proposed to apply a method of non-destructive testing of mechanical characteristics based on the impact insertion of a conical indenter into the test surface. Further, it is proposed to process the obtained sample of values of the measured characteristic for compliance with the three-parameter Weibull law to estimate the shift parameter or the minimum value of this characteristic.

Conclusions. The minimum values of the tensile strength, yield strength and relative elongation of the metal of the deformed boom strut of the UMK-2 crane were obtained on the basis of the application of the method of non-destructive testing with subsequent approximation of statistical information by the Weibull distribution law. A conclusion was made about the reduced strength characteristics of the metal relative to those stated in the technical documentation, which could cause deformation of the crane boom element.

Keywords: reliability, mechanical characteristics, lifting cranes, non-destructive testing.

For citation: Vernezi N. L., Rusakov V. A. On the Control of Metal Strength of Structural Elements of Floating Cranes. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 48−53. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-48-53

Введение. Грузоподъемные краны являются объектами повышенной производственной опасности, вследствие чего особенно высокие требования предъявляются к их безопасности, в значительной степени определяемой эксплуатационной надежностью. Из анализа работ, посвященных надежности плавучих кранов [1–3], следует, что 22 % отказов вызваны нарушением правил эксплуатации, 27 % отказов связаны с течью в гидравлической системе и 51 % — доля отказов, обусловленных физическими и механическими свойствами металла конструктивных элементов, из которых: 24 % — отказы по причине износа (каната, опорных роликов, подшипниковых узлов, элементов канатно-блочной системы, тормозов и др.) и 27 % отказов имеют происхождением потерю прочности металла (разрушение основного металла и сварных швов, а также чрезмерная деформация элементов металлоконструкции стрелы, контактная деформация опорных роликов и крюков и др.).

В конце 2021 года силами сотрудников кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета произведено обследование технического состояния плавучего крана УМК-2, который использовался при демонтаже старого и строительстве нового Ворошиловского моста через реку Дон в городе Ростов-на-Дону, а также на других водных объектах, где работы мог выполнить только плавучий кран. При обследовании деформированных металлоконструкций, согласно [4], необходимо обращать внимание на дефекты, приводящие к снижению несущей способности конструкции, а именно: отклонению от прямолинейности стоек элементов ферменных конструкций, скручиванию конструкций, несоосности соединений секций стрел, башен, наличию остаточных прогибов пролетных балок и т.п.

В результате обследования было выявлено, что основные отказы, происходившие с краном, приходились на стрелу, а именно на следующие причины: деформацию металла раскоса стрелы, трещины в средней части корневой секции стрелы, трещины в сварных швах корневой секции стрелы, трещины в блоке полиспаста крюка стрелы, дефекты части раскоса стрелы, подвергшиеся деформированию, вследствие чего кран был выведен из эксплуатации.

Постановка задачи. Задачей являлось исследование причины повреждения металлических элементов конструкции стрелы. В общем случае возможны три причины: недостаточно точный расчет конструкции стрелы, несоответствие прочностных характеристик применяемой марки стали требуемым, в соответствии с конструкторской документацией, и перегрузки, допускаемые при эксплуатации машины. Первая причина маловероятна, поскольку кран УМК-2 проектировался в середине 70-х годов в советское время и, как правило, с достаточным коэффициентом надежности по материалу. Чтобы установить вторую и третью причину необходимо было определить прочностные возможности примененного металла поврежденного элемента стрелы. Определение механических характеристик металла действующей машины возможно только на основе применения неразрушающего контроля.

Теоретическая часть. Большинство методов неразрушающего контроля — ультразвуковой, радиационный, магнитный, вихретоковый, акустико-эмиссионный и т.д. предоставляют возможность качественной, а не количественной оценки состояния исследуемого объекта. Поэтому было принято решение применить разработанный в Донском государственном техническом университете метод неразрушающего контроля металла с получением количественных значений его механических характеристик. Метод реализован в системе «Прочность» [5–8], состоящей из электронного блока, включающего в себя аналогово-цифровой преобразователь L-CARDE 14-440, ударного механизма и ноутбука с программным обеспечением [9].

В основе лежит видоизмененный метод оценки твердости по Роквеллу, при этом статическое вдавливание заменено на динамическое с энергией удара 0,16 Дж, а угол при вершине индентора для большей информативности результатов измерения заменен со 120° на 90°. Ударное вдавливание осуществляется за счет пружинного механизма, в котором боек ударяет по держателю индентора. При этом электронный блок фиксирует промежуточные параметры: глубину, максимальную и минимальную скорости, ускорение и замедление индентора в процессе его внедрения в материал и переводит их в механические свойства материала.

Созданию системы предшествовали многолетние исследования механических характеристик большого числа марок сталей различных классов прочности. В результате были получены корреляционные зависимости промежуточных характеристик образа материала, стандартных пределов текучести и прочности относительного удлинения и твердости.

После наполнения этими зависимостями электронного блока достаточно провести измерение вновь исследуемого материала и на экране ноутбука, оснащенного разработанным программным обеспечением, высвечиваются значения стандартных механических характеристик. Система имеет суммарное рассеивание, вызванное разбросом свойств в металле и погрешностью измерения. Предельные значения погрешности одного измерения системой ±4%.

Обсуждение. Контролю подвергся металл деформированного элемента стрелы. Поверхность зачищалась от краски и коррозии до чистого металла, производилось от 10 до 15 измерений в различных точках элемента с единовременной регистрацией механических характеристик.

В соответствии с [10, 11] наилучшим образом распределение получаемых в результате измерений случайных значений механических характеристик описывается трехпараметрическим законом Вейбулла.

$$F(X) = 1 - \exp[-((X - C)/A)^B], \qquad C < X < \infty,$$

где X — величина механического свойства; A, B, C — параметры масштаба, формы и сдвига.

Важнейшим параметром этого распределения является параметр сдвига или минимальное значение механической характеристики.

По этой причине данные, полученные в разных точках элемента, объединялись в один массив (таблица 1) и затем обрабатывались с помощью программы на соответствие трехпараметрическому закону Вейбулла.

Таблица 1

Массив данных, подверженных обработке

Измеренные текущие значения механических характеристик, ранжированные по возрастанию прочностных характеристик		
Значения предела текучести $\sigma_т$, МПа	Значения предела прочности $\sigma_в$, МПа	Значения относительного удлинения δ_5, %
301	431	26
303	437	25
310	439	24
312	445	24
313	451	24
314	453	23
315	455	23
316	457	23
317	458	23
318	459	23
322	460	22
322	460	22
322	460	22
323	461	22
326	461	22
329	461	22
335	462	22
338	462	22
340	464	21
342	468	21
345	470	21
347	471	21
348	479	20
353	482	20
351	492	19
352	499	19

Аппроксимация эмпирических значений предела текучести $\sigma_т$, предела прочности σв и относительного удлинения δ_5 проводилась по методам моментов и максимального правдоподобия с критерием согласия ω^2 (таблица 2).

Таблица 2

Аппроксимация эмпирических значений механических характеристик

Механи-ческая харак-те-ристика	Параметр распределения			Метод аппрок-симации	Значение критерия согласия ω^2
	Параметр мас-штаба «А»	Параметр фор-мы «В»	Параметр сдви-га (минималь-ное значение характерис-тики) «С»		
$\sigma_т$	47,29	2,89	285 (Мпа)	Моментов	0,49
	37,41	2,32	294 (Мпа)	Максимального правдоподобия	0,51
σв	38,91	2,44	427 (Мпа)	Моментов	0,77
	43,22	2,76	423 (Мпа)	Максимального	0,73

Механи-ческая харак-те-ристика	Параметр распределения			Метод аппрок-симации	Значение критерия согласия ω^2
	Параметр мас-штаба «А»	Параметр фор-мы «В»	Параметр сдви-га (минималь-ное значение характерис-тики) «С»		
				правдоподобия	
δ_5	5,45	3,17	17,3 (%)	Моментов	0,51
	5,14	3,04	17,6 (%)	Максимального правдоподобия	0,52

По результатам испытаний обнаружилось следующее. При оценке предела текучести критерий значения ω^2 несколько ниже по методу моментов, что соответствует минимальному значению 285 МПа. При оценке предела прочности значение критерия ω^2 ниже по методу максимального правдоподобия и это соответствует минимальному значению 423 МПа. При оценке относительного удлинения значение критерия ω^2 незначительно ниже по методу моментов и это соответствует минимальному значению 17,3 %.

Заметим, что во всех случаях параметр формы «В» имел значение, превышающее 2, что также указывает на согласованность распределения текущих измеренных значений с распределением Вейбулла.

Выводы. В конструкторской документации на изготовление грузоподъемного крана УМК-2 указан материал раскосов стрелы сталь 09Г2С. Эта сталь должна иметь значения механических характеристик не ниже, чем: $\sigma_т$ = 345 Мпа; σв = 490; δ_5 = 21%. Т.е. минимальные значения механических характеристик испытанного материала уступают заявленным соответствующим значениям для стали 09ГС по пределу текучести на 17 %, по пределу прочности — на 14% и по относительному удлинению — на 18%, что может явиться одной из причин пластической деформации раскоса стрелы.

Библиографический список

1. Слюсарев, А. С. Проблемы использования плавучих кранов, отработавших нормативный срок эксплуатации / А. С. Слюсарев, А. С. Яблоков // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2012. — № 30. — С. 91–96.

2. Игнатович, В. С. Анализ тяжелых плавучих кранов и особенностей их эксплуатации / В. С. Игнатович, А. В. Кузьмина, К. В. Перпадя // Научные проблемы водного транспорта. — 2021. — № 68 (3). — С. 68–80. https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.204

3. Анцев, В. Ю. Классификация дефектов и отказов грузоподъемных машин / В. Ю. Анцев, П. В. Витчук, К. Ю. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2015. — № 10. — С. 121–128.

4. РД 10-112-1-04. Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Общие положения // znaytovar.ru : [сайт]. — URL: https://znaytovar.ru/gost/2/RD_10112104_Rekomendacii_po_ek.html (дата обращения : 30.06.2022).

5. Способ определения технологических и эксплуатационных свойств материалов и устройство для его осуществления : патент 2128330. Рос. Федерация : G01N 3/42 / Д. М. Беленький, А. Н. Бескопыльный, Л. Г. Шамраев. — № 97100203/28 ; заявл. 08.01.1997 ; опубл. 27.03.1999. — 10 с.

6. Способ определения механических характеристики и устройство для его осуществления : патент 2079831. Рос. Федерация : G01N 3/42 / Д. М. Беленький, А. Н. Бескопыльный, Н. Н. Бескопыльный, Е. К. Полибин, Б. А. Песенко. — № 904023277/28 ; заявл. 17.06.1994 ; опубл. 20.05.1997. — 8 с.

7. Способ определения прочностных характеристик металлов и сплавов : патент 2080581. Рос. Федерация : G01N 3/48 / А. Е. Кубарев, А. Х. Аннабердиев. — 93001349/28 ; заявл. 11.01.1993 ; опубл. 27.05.1997. — 6 с.

8. Вернези, Н. Л. Исследование прочностных характеристик металлического крепежа деревянного корпуса речного причала / Н. Л. Вернези, А. А. Веремеенко, Д. С. Вальдман // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2015. — № 3. — URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3231 (дата обращения : 30.06.2022).

9. Вектор 2015. Программа для ЭВМ : свидетельство № 2015610650 / А. Н. Бескопыльный, А. А. Веремеенко, Н. Л. Вернези ; зарегистрирована в Государственном Реестре программ для ЭВМ Российской Федерации 15.01.2015.

10. ГОСТ Р 50779.27-2017 (МЭК 61649.2008). Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы, Распределение Вейбулла. Анализ данных / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2020. — 58 с.

11. Способ определения механических характеристик и физического критерия подобия прочности материала детали : патент 2279657. Рос. Федерация : G01N 3/00 / Д. М. Беленький, А. А. Недбайло. — № 2004133996/28 ; заявл. 12.11.04 ; опубл. 07.10.06. Бюл. № 14. — 12 с.

Поступила в редакцию 05.07.2022
Поступила после рецензирования 29.07.2022
Принята к публикации 29.07.2022

Об авторах:

Вернези Никос Леонидович, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистики» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, vernezin@mail.ru

Русаков Владислав Андреевич, студент кафедры «Эксплуатации транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) vlad.rusakov.1999@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Н. Л. Вернези — постановка проблемы, разработка концепции статьи; В. А. Русаков — критический анализ литературы, сбор и обработка статистических данных.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ







Научная статья
УДК 669.017.16:539.384
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-54-59

Баллистическая стойкость стали со структурой естественного феррито-мартенситного композита

В. Н. Пустовойт, Ю. В. Долгачев, Ю. М. Домбровский
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Для стальных броневых материалов актуальным является снижение толщины и металлоемкости защитной конструкции. Разработанный ранее класс материалов со структурой естественного феррито-мартенситного композита (ЕФМК) имеет характеристики, благоприятствующие торможению развития трещины при ударных нагрузках. В связи с этим он имеет хорошие перспективы применения в качестве броневого материала.

Постановка задачи. Целью данной работы была оценка возможности применения ЕФМК-материалов для устройств броневой защиты на основе результатов испытаний баллистической стойкости при сосредоточенном ударе большой мощности (снарядом, летящим с гипервысокой скоростью).

Теоретическая часть. Исследование баллистической стойкости проводили на образцах из стали 14Г2, обработанных по различным режимам. Образцы имели форму пластин и квадратную сетку на поверхности. Проводились имитационные испытания воздействия термоупрочненных дюбелей из монтажного пистолета и обстрел боевым стрелковым оружием на полигоне из снайперской винтовки СВД и автомата АК-74 боеприпасами заводского снаряжения. Результаты имитационных испытаний показали явное преимущество стали со структурой ЕФМК. Сравнение результатов обстрела боевым стрелковым оружием показало, что баллистическая стойкость стали со структурой ЕФМК зависит от соотношения объемных долей феррита и мартенсита, которые обусловливают разную толщину вязкой и прочной составляющих композита. Наибольшая стойкость наблюдалась у образца со структурой ЕФМК, обработанного по режиму: закалка при 730°C и отпуск при 180°C.

Выводы. Стали со структурой ЕФМК могут обеспечить эффективную защиту воинского персонала при меньшей материалоемкости устройств броневой защиты, что обусловлено особым способом торможения разрушения при локальном ударе большой мощности. Поэтому практическое применение разработанного класса естественных композиционных материалов представляется перспективным для получения броневого листа с меньшей толщиной, что способствует снижению веса боевых машин, повышению их мобильности и уменьшению расхода горючего.

Ключевые слова: сталь, композит, феррит, мартенсит, разрушение, трещиностойкость, термическая обработка.

Для цитирования: Пустовойт, В. Н. Баллистическая стойкость стали со структурой естественного феррито-мартенситного композита / В. Н. Пустовойт, Ю. В. Долгачев, Ю. М. Домбровский // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 54−59. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-54-59

Original article

Ballistic Resistance of Steel with the Structure of a Natural Ferrite-Martensitic Composite

V. N. Pustovoit, Yu. V. Dolgachev, Yu. M. Dombrovskii
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. For steel armor materials, it is important to reduce the thickness and, consequently, the metal consumption of the protective structure. The previously developed class of materials with the structure of a natural ferrite-martensite composite (NFMC) has characteristics that favor the inhibition of crack development under impact loads and has prospects as an armor material.

Problem Statement. The purpose of this work is to evaluate the possibility of using NFMC materials for armor protection devices based on the results of ballistic resistance tests under a high-power concentrated impact (a projectile flying at a hyper-high speed).

Theoretical Part. The study of ballistic resistance was carried out on samples of steel 14G2 processed according to various modes. The samples had the shape of plates and a square grid on the surface. Simulation tests of the impact of heat-strengthened dowels from a powder-actuated tool and firing of military small arms at the testing site from an SVD sniper rifle and an AK-74 assault rifle with machine loading ammunition were carried out. The results of simulation tests showed a clear advantage of steel with the NFMC structure. The comparison of the results of firing with military small arms has showed that the ballistic resistance of steel with the NFMC structure depends on the ratio of the volume fractions of ferrite and martensite, which cause different thicknesses of the ductile and strong components of the composite. The highest resistance was observed for a sample with an NFMC structure processed according to the regime: quenching 730°C and tempering 180°C.

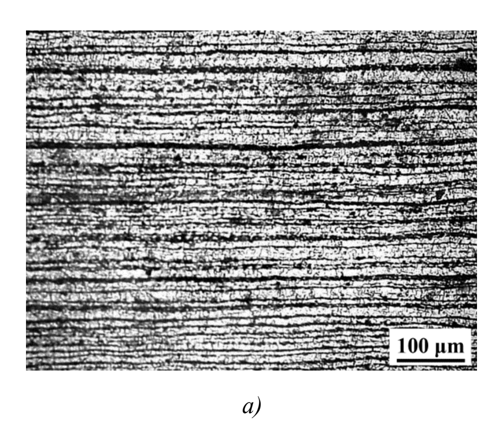
Conclusions. Steels treated for the NFMC structure can provide effective protection for military personnel with a lower material consumption of armor protection devices, which is due to a special method of braking destruction during a high-power local impact. Thus, the practical application of the developed class of natural composite materials seems promising for obtaining an armor plate with a thinner thickness, which helps to reduce the weight of combat vehicles, increase their mobility and reduce fuel consumption.

Keywords: steel, composite, ferrite, martensite, fracture, crack resistance, heat treatment.

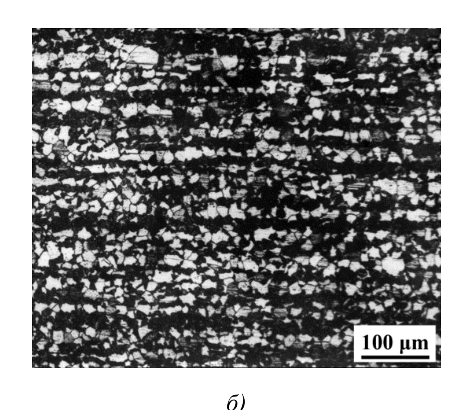
For citation: Pustovoit V. N., Dolgachev Yu. V., Dombrovskii Yu. M. Ballistic Resistance of Steel with the Structure of a Natural Ferrite-Martensitic Composite. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 54−59. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-54-59

Введение. В настоящее время в качестве защитного материала боевых машин пехоты, боевых машин десанта и бронетранспортеров применяется стальной горячекатаный лист, имеющий в состоянии поставки феррито-перлитную структуру. Броня, изготовленная из листа с такой структурой, не обеспечивает необходимую защиту при локальных соударениях большой мощности и легко пробивается ручным гранатометом, подствольным гранатометом и даже стрелковым оружием с высокой поражающей способностью — снайперской винтовкой СВД калибра 7,62 с бронебойным патроном с вольфрамовым сердечником, новой снайперской винтовкой калибра 12,7. Увеличение толщины броневого листа (больше 25 мм) серьезно ухудшает мобильность боевых машин на поле боя, увеличивает вес и расход горючего.

В работах [1, 2] обоснована возможность создания стали со структурой естественного феррито-мартенситного композита (ЕФМК) на основе использования доэвтектоидных сталей со строчечной феррито-перлитной структурой. Закалка такой стали из межкритического интервала температур (A_1–A_3) даёт возможность получить слоистую структуру феррито-мартенситного композита (рис. 1). Исследование свойств рассматриваемых сталей при статическом растяжении и ударном изгибе даёт основание полагать, что для такой структуры характерным является особый механизм торможения развития трещины [2].



а)



б)

Рис. 1. Структура стали марки 14Г2: *а* — строчечная феррито-перлитная;
б — после закалки от температуры 760°С

Постановка задачи. Целью настоящей работы является определение возможности применения сталей со структурой ЕФМК для устройств броневой защиты (индивидуальная защита воинского персонала, защита БТР, БМП, БМД от поражения при стрельбе из стрелкового оружия и гранатометов). На основе сформулированной цели ставится задача получения данных о баллистической стойкости мишени из стали со структурой ЕФМК при сосредоточенному ударе большой мощности снарядом, летящем с гипервысокой скоростью (> 800 м/с).

Методика проведения исследований. Исследование баллистической стойкости проводили на образцах стали 14Г2, обработанных по режимам, представленным в таблице 1. Образцы для испытаний представляли собой пластины размером 150×44×7 мм. Поверхность образцов шлифовали, а затем рейсмусом на поверхность наносили сетку с шагом 3 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Таблица 1

Характеристики образцов стали 14Г2 для испытаний
на баллистическую стойкость

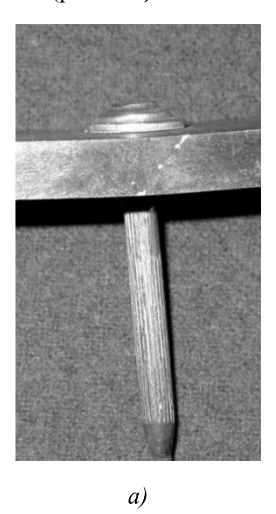
№ образца	Режим обработки	Объемное соотношение феррит/мартенсит после закалки	Твердость, $HRC_Э$
1	состояние поставки	–	< 20
2	закалка 860°С + отпуск 400 °С	0/100	38÷40
3	закалка 730°С + отпуск 180 °С	65/35	42÷44
4	закалка 760°С + отпуск 180 °С	45/55	42÷44

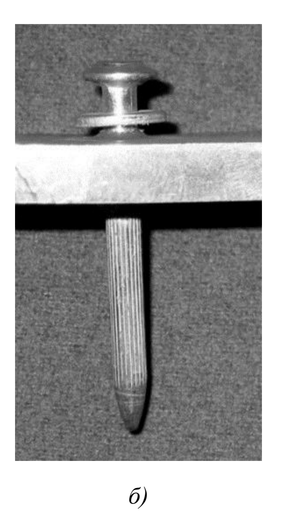
Предварительно проводили имитационные испытания пластин-мишеней воздействию термоупрочненных дюбелей (диаметром 4,5 мм) с помощью монтажного поршневого пистолета ПЦ-8 (применялись дульные гильзы Д-4 максимальной мощности).

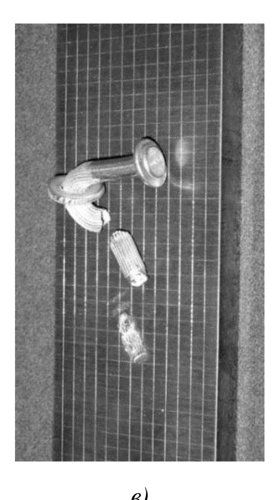
Далее с целью испытаний при воздействии ударом большой мощности (снарядом, летящим с гипервысокой скоростью) был проведен отстрел боевым стрелковым оружием на полигоне одной из воинских частей МО РФ, дислоцированной в непосредственной близости от г. Ростова-на-Дону. Из имеющегося арсенала были выбраны два вида отечественного стрелкового оружия с наиболее высокой поражающей способностью: снайперская винтовка СВД калибра 7,62 мм и автомат АК-74 калибра 5,45 мм. Оба вида были обеспечены боеприпасами заводского снаряжения двух типов: лёгким патроном со стальным сердечником и бронебойным с вольфрамовым сердечником в медных обечайках. Отстрел производили с дистанции 45 метров, позволяющей вести прицельный огонь, учитывая отсутствие специальных мер на полигоне по предотвращению рикошета. Увеличение дистанции обстрела, по сравнению с рекомендуемой стандартами на пулестойкость дистанции в 10 метров, не должно существенно сказаться при сравнении этого параметра со справочными данными, учитывая высокую скорость пуль и оценку характера поражений для этих видов оружия: винтовка СВД — патрон 7,62 мм с пулей ЛПС и Б-32, масса 9,6÷10,4 г, скорость 800÷840 м/с; автомат АК-47 — 5,45 мм с пулей ПС и БС, масса 3,5÷3,8 г, скорость 890÷910 м/с.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты предварительных имитационных испытаний при воздействии дюбелем монтажного пистолета иллюстрирует рис. 2. Видно, что в состоянии поставки (рис. 2 *а*) пластина простреливается насквозь до упора дюбеля. После полной закалки и отпуска при температуре 400 °С пластина простреливается, но дюбель упора не достигает (рис. 2 *б*). Выстрел в пластину со

структурой ЕФМК (образец № 4, таблица 1) приводит к разрушению дюбеля без существенных повреждений пластины (рис. 2 *в*).







а) *б)* *в)*

Рис. 2. Результаты имитационных испытаний пластин-мишеней из стали 14Г2 при стрельбе монтажным пистолетом: *а* — образец № 1; *б* — образец № 2; *в* — образец № 4

Проведенные имитационные испытания показали явное преимущество стали со структурой ЕФМК. Однако, энергия дюбеля, сообщаемая ему пороховым зарядом дульной гильзы, меньше, чем энергия сосредоточенного удара снаряда, летящего с гипервысокой скоростью. Поэтому проводили отстрел образцов № 3 и № 4 (таблица 1) со структурой ЕФМК с использованием боевого стрелкового оружия. Сравнение результатов испытаний показало, что баллистическая стойкость стали со структурой ЕФМК зависит от соотношения объемных долей феррита и мартенсита, которые обусловливают разную толщину вязкой и прочной составляющей композита. Так, образец № 4 с малой толщиной пластины вязкого феррита и низким содержанием углерода в мартенситной фазе почти всегда пробивается насквозь бронебойными пулями калибра 7,62 мм и 5,45 мм (рис. 3). Вместе с тем, образец № 3, имеющий также структуру ЕФМК, но бóльшую толщину ферритной фазы и прочность мартенситного слоя, при обстреле бронебойными пулями насквозь не пробивается. Пуля проникает в металл на 2–3 мм и рикошетирует. При этом на тыльной стороне образуется небольшая трещина (рис. 4).

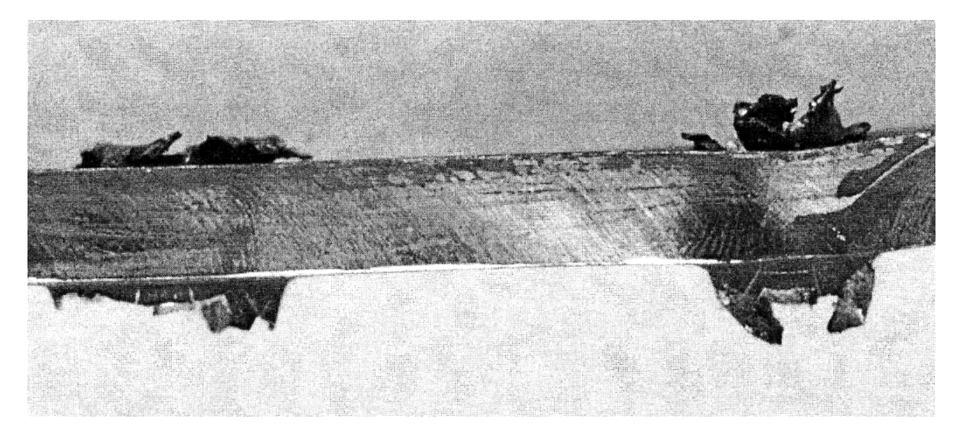
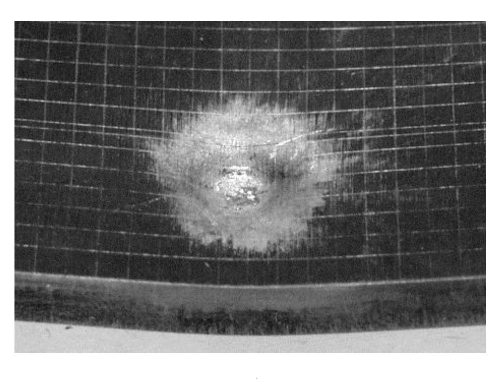
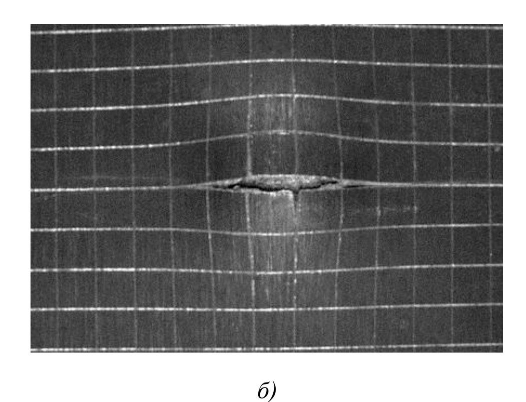


Рис. 3. Сквозное пробитие бронебойными пулями калибра 7,62 и 5,45 мм. Остатки медной обечайки в пробоинах. Режим обработки: закалка при 760 °С и отпуск при 180 °С





а) *б)*

Рис. 4. Пробитие отсутствует, результат рикошетирования: *а* — вид со стороны поражения; *б* — вид с тыльной стороны. Режим обработки: закалка с 730 °С и отпуск 180 °С

По данным, содержащимся на сайте бюро научно-технической информации «Техника для спецслужб» [3], широко используемая броневая сталь СПС-43 [4], выпускаемая по ТУ 0902-005-31041642-95 при обстреле из винтовки СВД с патроном ЛПС требует двухслойного листа общей толщиной 8,3 мм. Созданный авторами естественный композиционный материал выполняет задачу пулестойкости при поражении этим видом оружия при толщине 7 мм.

Высокая баллистическая стойкость стали со структурой ЕФМК обусловлена особым механизмом движения трещины в стали, структура которой организована в виде параллельных слоев пластичного, вязкого феррита и прочного мартенсита. При подходе трещины к поверхности раздела мартенсит-феррит на ней (или около неё) возникает расслоение в феррите вследствие наличия растягивающих напряжений, параллельных плоскости трещины [5–9]. В этом случае часть подводимой извне энергии расходуется на образование поверхности расслоения в феррите. Выход трещины в расслоение приводит к изменению её траектории, остановке продвижения и релаксации растягивающих напряжений в её вершине. Для разрушения следующего слоя композита (мартенситного слоя) в нём должна образоваться новая трещина, но уже в условиях, близких к одноосному напряженному состоянию, на что потребуется дополнительная энергия.

В работе [6] условие возникновения расслоения записано в следующем виде:

$$\sigma \geq \frac{K_D}{\varphi\sqrt{c}}, \qquad (1)$$

где K_D — некоторое критическое значение коэффициента интенсивности напряжений; $\varphi = \frac{3+\nu}{1+\nu}$ — константа (ν — коэффициент Пуассона); c — толщина хрупкого слоя (мартенсита).

При этом показано, что для возникновения расслоения впереди мартенситной трещины (до разрушения следующего хрупкого слоя) необходимо, чтобы $\sigma_{\text{р}} < \sigma < \sigma_{0,2}$ и, следовательно, условие возникновения расслоения, тормозящее разрушение слоистого образца, имеет вид:

$$K_D \leq \varphi\sqrt{\frac{E\sigma_{0,2}h\upsilon}{\alpha\beta}}, \qquad (2)$$

где h — толщина пластичного слоя (феррита); υ — максимальная величина смещения в пластичном слое; $\alpha = \frac{1+\nu}{3-\nu}$ и $\beta = \frac{4}{3-\nu}$ — константы.

Величина $K_D \sim \sqrt{\gamma_s n_s^2}$, тогда условие (2) примет следующий вид:

$$\sqrt{\gamma_s n_s^2} < \theta\sqrt{a\upsilon}, \qquad (3)$$

где γ_s — предельная деформация сдвига в ферритной пластине; n_s — показатель упрочнения при сдвиге; $\theta = \varphi\sqrt{\frac{E}{\alpha\beta}}$ — константа.

Если толщина пластичного слоя феррита в многослойном образце достаточна для выполнения условия (3), то образуется расслоение, препятствующее дальнейшему продвижению магистральной трещины. Для стали марки 14Г2 при значениях γ_s примерно 1000 МПа и $n_s = 0{,}43$ расслоение возникает при соотношении $\frac{h}{c} \geq 3$. Такое соотношение имеет место при закалке стали марки 14Г2 с температур от 730°С до 740°С межкритического интервала [10–12].

Выводы. Таким образом, результаты определения баллистической стойкости стали со структурой ЕФМК показали, что при меньшей материалоемкости она может обеспечить эффективную защиту воинского персонала, что обусловлено особым способом торможения разрушения при локальном ударе большой мощности. Практическое применение разработанного класса естественных композиционных материалов

представляется перспективным для получения броневого листа с меньшей толщиной, что способствует снижению веса боевых машин, повышению их мобильности и уменьшению расхода горючего.

Библиографический список

1. Способ получения естественного феррито-мартенситного композита : патент № 2495141 Рос. Федерация : C21D 8/00, C21D 8/02 / В. Н. Пустовойт, Ю. М. Домбровский, А. В. Желева, М. В. Зайцева. — № 2012119557/02 ; заявл. 11.05.2012 ; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 28. — 7 с.

2. Structural Organization and Properties of a Natural Ferrite-Martensite Steel Composite / V. N. Pustovoit, Y. V. Dolgachev, Y. M. Dombrovskii, V. V. Duka // Metal Science and Heat Treatment. — 2020. — No. 62 (5–6). — P. 369–375. http://dx.doi.org/10.1007/s11041-020-00570-9

3. Броневая сталь «СПС-43» // Бюро научно-технической информации «Техника для спецслужб» : [сайт]. — URL: http://www.bnti.ru/des.asp?itm=2390&tbl=08.02.05.&ysclid=l5mi3koutt157231786 (дата обращения : 10.06.2022).

4. СТАЛЬ СПС-43: патент 2123062 Рос. Федерация : С 22 С 38/50 / А. В. Петров, Г. А. Просвиряков, М. В. Сильников — № 97115821/02 ; заявл. 23.09.1997 ; опубл. 10.12.1998. — 6 с.

5. Cooper, G. A. Tensile properties of fibre-reinforced metals: fracture mechanics / G. A. Cooper, A. Kelly // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. — 1967. — No. 15(4). — P. 279–297.

6. Greif, R. The Effect of a Stringer on the Stress in a Cracked Sheet / R. Greif, J. L. Sanders // ASME. J. Appl. Mech. — 1965. — No. 32 (1). — P. 59–66. https://doi.org/10.1115/1.3625784

7. Bloom, J. M. The Effect of a Riveted Stringer on the Stress in a Cracked Sheet / J. M. Bloom, J. L. Sanders // ASME. J. Appl. Mech. — 1966. — No. 33 (3). — P. 561–570. https://doi.org/10.1115/1.3625122

8. Sanders, J. L. Effect of a stringer on the stress concentration due to a crack in a thin sheet / J. L. Sanders. — Washington: National Aeronautics and Space Administration, 1959. — No. 4207. — 10 p.

9. Poe, C. C. Stress intensity factor for a cracked sheet with riveted and uniformly spaced stringers / C. C. Poe. – Washington: National Aeronautics and Space Administration, 1971. — №. L-6826. — 64 p.

10. Пустовойт, В. Н. Сценарий роста трещины в стали со структурой ферритно-мартенситного композита / В. Н. Пустовойт, В. В. Дука, Ю. В. Долгачев // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2017. — № 10 (205). — С. 118–121.

11. Features of destruction of a ferrite-martensitic composite / V. N. Pustovoit, V. V. Duka, Y. V. Dolgachev [et al.] // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 226. — P. 03006. http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/201822603006

12. Усталостное разрушение стали со структурой феррито-мартенситного композита / В. Н. Пустовойт, С. А. Гришин, Ю. В. Долгачев, В. В. Дука // Известия вузов. Черная металлургия. — 2022. — Т. 65, № 2. — С. 92–97. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-2-92-97

Поступила в редакцию 11.06.2022
Поступила после рецензирования 12.07.2022
Принята к публикации 12.07.2022

Об авторах:

Пустовойт Виктор Николаевич, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, fipm-dstu@mail.ru

Долгачев Юрий Вячеславович, доцент кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, yuridol@mail.ru

Домбровский Юрий Маркович, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, yurimd@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. Н. Пустовойт — формирование основной концепции, цели и задач исследования, научное руководство, подготовка текста, формирование выводов; Ю. В. Долгачев — проведение расчетов, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; Ю. М. Домбровский — подготовка образцов для исследования, проведение имитационных испытаний, проведение металлографического анализа.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ







Научная статья
УДК 621.762.1
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-60-67

Технология изготовления подшипников скольжения из железографитовых композиций

М. С. Егоров, В. Н. Пустовойт, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, работающим в условиях высоких давлений, скоростей, деформаций и агрессивных сред. Использование методов порошковой металлургии при создании новых материалов позволяет обеспечить рациональное сочетание технологии получения структурных и рабочих характеристик. Среди материалов, получаемых методами порошковой металлургии, большой интерес вызывают используемые в машиностроении порошковые стали. В статье исследована возможность изготовления пористых подшипников скольжения из железного порошка для вентиляторных электродвигателей бытовых кондиционеров взамен пористых подшипников из бронзографита.

Постановка задачи. Для обеспечения продолжительной работы вентиляторных электродвигателей из металлических порошков необходимо создание пористых подшипников без легирующих добавок с требуемыми механическими свойствами. Для этого необходимо проведение серии экспериментальных работ по определению зависимостей механических и технологических свойств от температуры спекания, давления прессования и пористости образцов.

Теоретическая часть. В качестве теоретического описания проанализировано применение пресс-формы с дополнительным дренирующим зазором, которая обеспечивает высокую плотность подшипников при низком давлении прессования. Также рассмотрено влияние давления прессования на прочность подшипников скольжения при механических деформациях в зависимости от температуры спекания

Выводы. В работе установлено, что в процессе спекания подшипников скольжения при температуре 800–1100°С происходит значительное науглероживание шихты вследствие разложения стеарата цинка в закрытых порах. В результате формируется ферритоперлитная структура, благодаря чему подшипники хорошо калибруются и имеют высокую износостойкость при работе в паре со стальным валом. Были подобраны оптимальные режимы спекания, давления прессования, которые показали высокую надежность и долговечность получаемых изделий из чистого железного порошка.

Ключевые слова: подшипники скольжения, спекание, углерод, сплавы, пределы прочности, предел текучести, относительное удлинение, микроструктура поверхности.

Для цитирования: Технология изготовления подшипников скольжения из железографитовых композиций / М. С. Егоров, В. Н. Пустовойт, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 60–67. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-60-67

Original article

Manufacturing Technology of Sliding Bearings from Ferro-Graphite Compositions

M. S. Egorov, V. N. Pustovoit, G. G. Tsordanidi, R. V. Egorova
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The development of modern technology imposes increasingly stringent requirements on materials operating under conditions of high pressures, speeds, deformations and aggressive media. The use of powder metallurgy methods in the creation of new materials makes it possible to provide a rational combination of production technology, structural and performance characteristics. Powder steels used in mechanical engineering are of great interest among the materials

obtained by powder metallurgy. The article explores the possibility of manufacturing porous bearings made of iron powder for fan motors of domestic air conditioners instead of porous bearings made of bronze graphite.
Problem Statement. To ensure long-term operation of fan motors from metal powders, it is necessary to create porous bearings without alloying additives with the required mechanical properties. This requires a series of experimental work to determine the dependences of mechanical and technological properties on the sintering temperature, compacting pressure and the porosity of samples.
Theoretical Part. As a theoretical description, the use of a mold with an additional draining gap, which provides high bearing density at low compacting pressure, is analyzed. The effect of compacting pressure on the strength of sliding bearings under mechanical deformations depending on the sintering temperature is also considered.
Conclusions. It was established in the work that during the sintering of sliding bearings at a temperature of 800-1100°C, a significant charge carburization occurs due to the decomposition of zinc stearate in closed pores. As a result, a ferrite-pearlite structure is formed, due to which the bearings are well calibrated and have high wear resistance when paired with a steel shaft. Optimum sintering modes and compacting pressures were selected, which showed high reliability and durability of the products obtained from pure iron powder.

Keywords**:** sliding bearings, sintering, carbon, alloys, strength limits, yield strength, elongation, microstructure of the surface.

For citation**:** Egorov M. S., Pustovoit V. N., Tsordanidi G. G., Egorova R. V. Manufacturing Technology of Sliding Bearings from Ferro-Graphite Compositions. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 60−67. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-60-67

Введение. Пористые подшипники скольжения для вентиляторных электродвигателей бытовых кондиционеров должны выдерживать длительную эксплуатацию (15–20 тыс. ч) в следующих условиях: скорость скольжения — 0,5 м/с; удельная нагрузка — 2 кг/см^2; в качестве смазки используется композиция «Пермавик», создающая постоянный маслообмен в узле трения на весь период эксплуатации электродвигателя (ею заполняют специальную полость подшипникова щита). Эти подшипники изготавливают из порошков цветных металлов: распыленного бронзового порошка марки БРО10С — 1,5–583,8 %, электролитического медного порошка марки ПМС — 1–36 % и оловянного порошка марки ПО-1 с весьма низкой насыпной плотностью — 4 %. Кроме того, в шихту добавляют 1,2 % графитового порошка ГК-3 и 1,5 % стеарата цинка. Следует отметить, что эти материалы достаточно дороги. Кроме того, они требуют при спекании точного соблюдения специальных условий (температурного режима, состава газовой среды в печи).

В настоящее время разработано множество разновидностей пористых подшипников из железографитовых, железомедьграфитовых и других материалов с различными свойствами, успешно заменяющих пористые подшипники из бронзографитов. Но эти материалы менее технологичны, так как требуют значительно больших усилий при прессовании и калибровании подшипников, что сказывается на производительности и стойкости дорогостоящего пресс-инструмента [1–4].

Целью работы является исследование технологических режимов получения пористых подшипников из железного порошка без легирующих добавок (особенно углерода), а также разработка пресс-формы для прессования заготовок с дополнительным дренирующим зазором.

Постановка задачи. Для обеспечения продолжительной работы вентиляторных электродвигателей из металлических порошков необходимо создание пористых подшипников без легирующих добавок с требуемыми механическими свойствами. Для этого необходимо проведение серии экспериментальных работ по определению зависимостей механических и технологических свойств от температуры спекания, давления прессования и пористости образцов.

Теоретическая часть. Материалом для исследования был выбран железный порошок марки ПЖРВ 2.200.226 с насыпной плотностью 2,5 г/см^3, к которому добавляли 1,5 % стеарата цинка. Как известно [5–8], повышенное содержание стеарата цинка в шихте создает дополнительные сообщающиеся поры при спекании. Смешивание осуществляли в V-образном промышленном смесителе в течение 30 минут. Холодное прессование производили на механическом прессе с номинальным усилием 50 кН по принципу эффективного удаления воздуха из шихты через дополнительные дренирующие зазоры, которыми снабжена пресс-форма. Благодаря этому при маленьких давлениях прессования (100–200МПа) достигается высокая плотность подшипников. Возможность дополнительного дренирования в процессе прессования обеспечивается расчленением нижнего пуансона на две части (пуансон в пуансоне) (рис. 1).

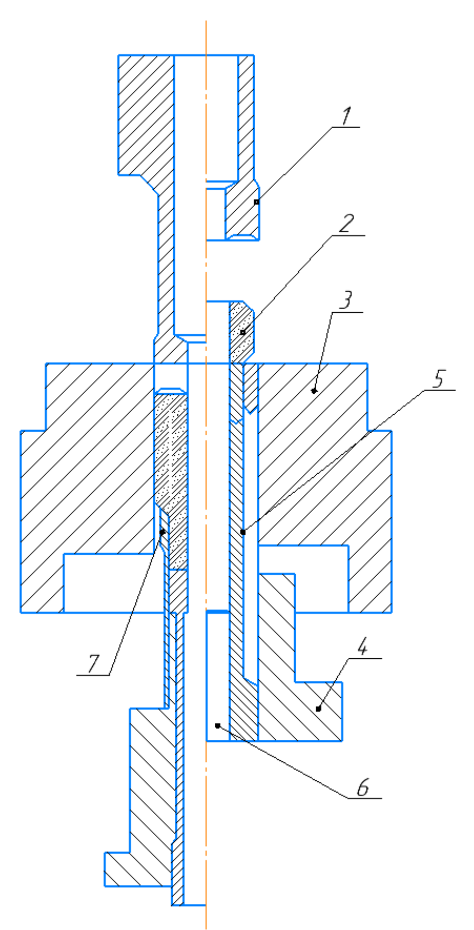


Рис. 1. Пресс-форма с дополнительным дренирующим зазором: 1 — верхний пуансон; 2 — пористый подшипник; 3 — матрица; 4 — наружный нижний пуансон; 5 — внутренний нижний пуансон; 6 — стержень; 7— дополнительный дренирующий зазор

Прессовки спекали в печи непрерывного действия в среде эндотермического газа (температура точки росы от +5 до +8°С) при температурах 800–1100°С в течение 30 минут. Спеченные подшипники калибровали специальным инструментом. Затем производили вакуумную пропитку подшипников маслом ХМ-6 в течение 40 мин при остаточном давлении 1,33 Па.

Было произведено исследование влияния температуры спекания на открытую пористость и масловпитываемость подшипников, спрессованных под давлением 100–250 МПа (рис. 2). Открытая пористость подшипников, спрессованных при 250 МПа, несколько уменьшается с повышением температуры спекания. Разница в пористости между подшипниками, спеченными при 800°С и 1100°С, составляет 1 %. Пористость подшипников, спрессованных под давлением 100–200МПа, с температурой спекания меняется незначительно. Аналогично изменяется и масловпитываемость (рис. 2 б).

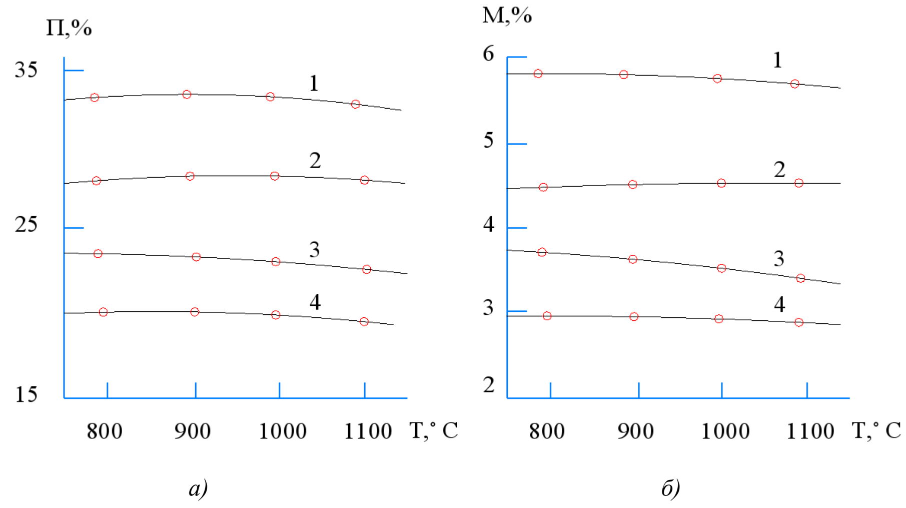
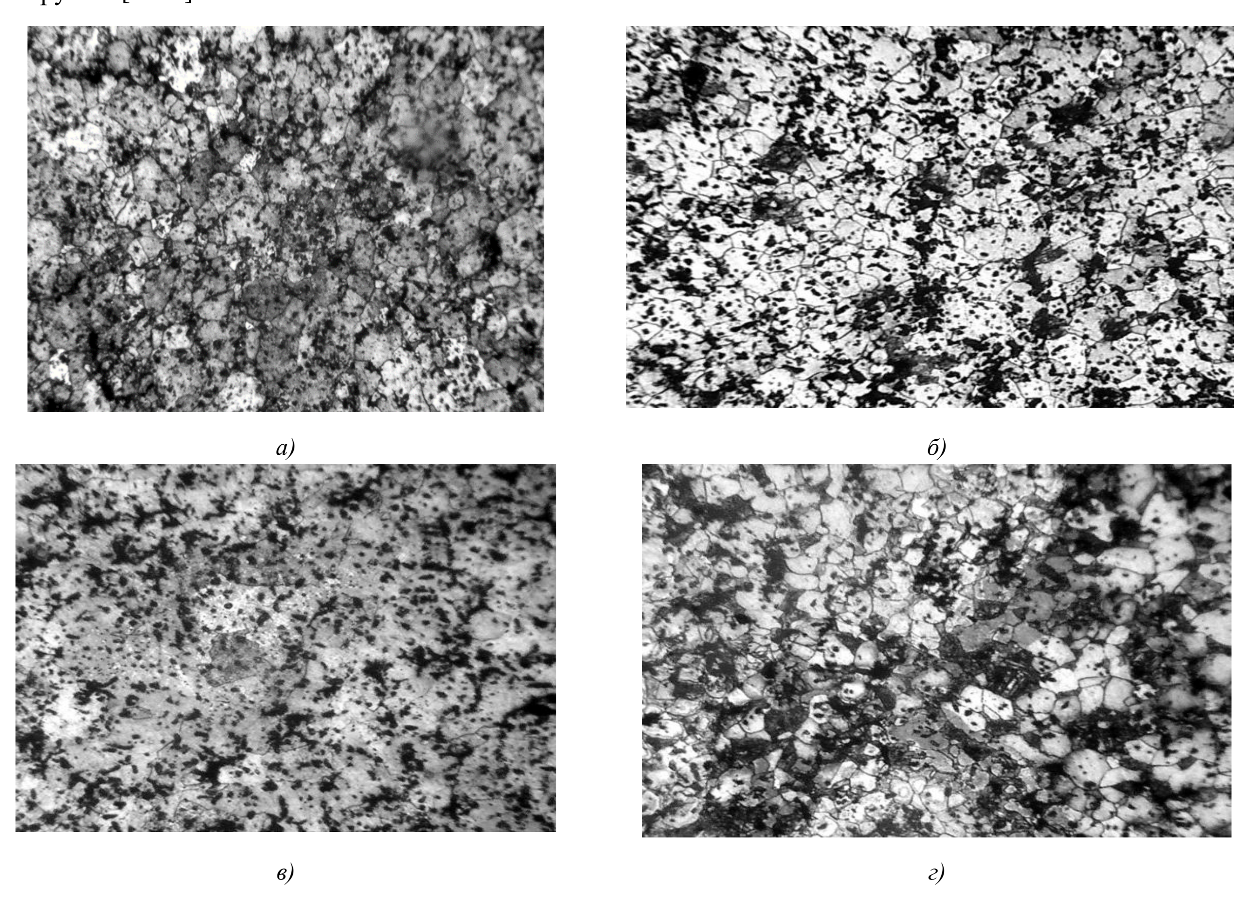


Рис. 2. Результаты исследования влияния температуры спекания на: *а* — открытую пористость; *б* — масловпитываемость: 1, 2, 3, 4 — давление прессования 100, 150, 200 и 250 МПа

С увеличением температуры спекания значительные изменения претерпевает микроструктура подшипников, спрессованных под давлением 150 Па (рис. 3). Количество мелких пор сокращается, а крупные становятся обособленными. При низких температурах спекания стеарат цинка захлопывается в закрытых порах, разлагается и науглероживает спекаемый материал. В структуре подшипников, спеченных при 800°С, значительно больше перлита, хотя в шихту углерод не вводили (рис. 3), но с увеличением температуры спекания количество перлита уменьшается и при 1100°С он едва заметен по границам пор. Появление перлита по границам пор подтверждает факт науглероживания материала через поры вследствие разложения стеарата цинка и воздействия с газовой средой. При спекании во всех рассматриваемых интервалах температур формируется ферритоперлитная структура.

Калибруемость подшипников зависит от температуры спекания (рис. 4 б) в разной мере, в зависимости от давления прессования. Если для подшипников, спрессованных под давлением 100 МПа, с увеличением температуры спекания требуется меньшее усилие калибрования, то для подшипников, спресованных при 150–250 Мпа, — большее. Размеры подшипников при калибровании изменяются в основном за счет уменьшения крупных пор. С повышением давления прессования уменьшается пористость прессовок, увеличивается межчастичный контакт порошков, возрастает число дислокаций и искажений в их структуре. Поэтому с увеличением температуры спекания материал этих подшипников приобретает большую прочность и трудно калибруется [9–12].



а) *б)*

в) *г)*

Рис. 3. Микроструктура пористых подшипников (×400) при следующих температурах спекания: *а* — 800°С; *б* — 900°С; *в* — 1000°С; *г* — 1100°С

Увеличение температуры спекания в целом приводит к возрастанию прочности подшипников при радиальном сжатии как после спекания, так и после калибрования (таблица 1). Резкое увеличение прочности подшипников во всех случаях наблюдается при 900°С. По-видимому, именно при повышенных температурах усиливается возгонка и выпаривание стеарата цинка, вторичная дегазация закрытых пор и поровых каналов. Далее активизируются диффузионные процессы, происходит полная рекристаллизация: мелкие поры исчезают, а крупные обособляются. Все это способствует повышению прочности подшипников после спекания и калибрования [2, 3, 10].

Таблица 1

Влияние давления прессования и температуры спекания на прочность подшипников при радиальном сжатии

Давление прессования Р, МПа	Температура спекания,°С	Прочность при радиальном сжатии, 1×10^3 Н	
		До калибрования	После калибрования
1,0	800	55	62,3
	900	70	92
	1000	189	263
	1100	252	309,3
1,5	800	90	122
	900	150	178
	1000	222	288
	1100	357	417
2,0	800	221	288
	900	200	250
	1000	357	457
	1100	479	547
2,5	800	160	212
	900	223	300
	1000	473	624
	1100	576	683

В соответствии с требованиями технических условий, подшипники после спекания и калибрования должны обладать прочностью при радиальном сжатии не менее 2,5 кН. Судя по данным таблицы 1, прочность всех подшипников, спеченных при 800°С, ниже этой нормы, независимо от давления прессования. Среди подшипников, спеченных при 900°С, прочностью более 2,5 кН обладают те, которые спрессованы при 200 и 250 МПа, причем после калибрования. Требуемого уровня прочности подшипники, спрессованные под давлением 100 МПа, достигают при температуре спекания 1100°С, другие же подшипники при 1000°С.

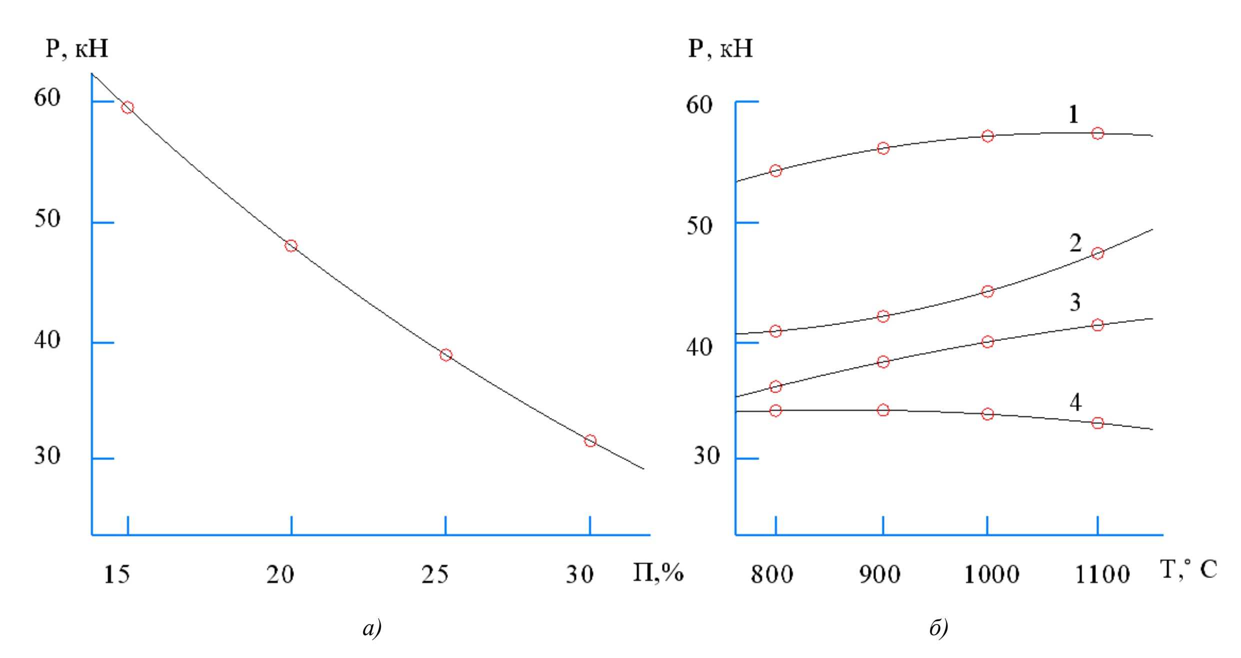


Рис. 4. Зависимость усилия калибровки от:
а — пористости (Т=1100°С, τ=30 мин), *б* — температуры спекания

С увеличением давления прессования в интервале 100–250 МПа плотность как спеченных, так и калиброванных подшипников увеличивается, а открытая пористость и масловпитываемость уменьшается (рис. 5). При этом характер всех кривых остается неизменным.

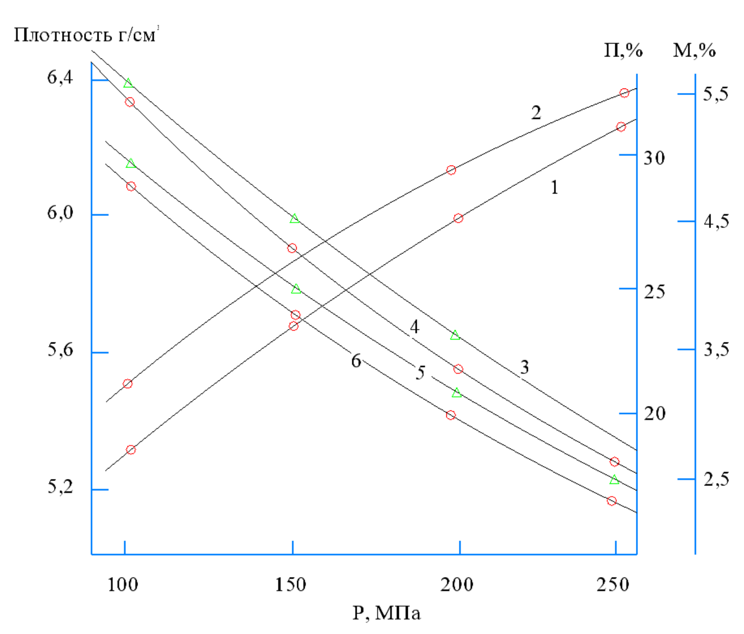


Рис. 5. Зависимость плотности (кривые 1, 2), открытой пористости (кривые 3, 4) и масловпитываемости (кривые 5, 6) от давления прессования

Следует отметить, что подшипники, спрессованные под давлением 100 МПа при высокой пористости и масловпитываемости обладают низкой прочностью, вследствие чего они разрушаются до спекания (при укладке, транспортировке). А подшипники, спрессованные при 250 МПа, обладают высокой прочностью и относительно низкой пористостью, хотя эти параметры отвечают требованиям, предъявляемым к подшипникам из бронографита.

Таким образом, наиболее технологичными следует признать подшипники, спрессованные под давлением 100–150 МПа и спеченные при температуре 1100°С. Но на всех этапах их изготовления лучшими свойствами обладали подшипники, спрессованными при 150 МПа и спеченные при 1100°С в среде эндотермического газа. Из этих подшипников были собраны 20 штук ассинхронных однофазных конденсаторных электродвигателей типа АБТ 71-115У2, применяемых в бытовых кондиционерах. Испытания на износ проводили на кондиционере-макете LG W07LC. В соответствии с требованиями технических условий к данному типу кондиционеров был выбран и срок испытаний — 1,5 тыс. час.

Результаты испытаний показали высокую надежность и долговечность подшипников, изготовленных из чистого железного порошка прессованием под давлением 150 МПа, спеканием при температуре 1100°С с калиброванием усилием 3,8 кН и вакуумной пропиткой маслом ХМ-6. Износ их был примерно таким же, как у подшипников из бронзографита — около 7 мкм на диаметр.

Выводы. Температура спекания подшипников в диапазоне 800–1100°С на их открытую пористость, масловпитываемость и калибруемость значительного влияния не оказывает.

При спекании подшипников формируется ферритоперлитная структура, обеспечивающая высокую износостойкость подшипников при работе в паре с валом из автоматной стали А-30 [13–16].

Подшипники, спрессованные под давлением 200 и 250 МПа и спеченные при температурах 800–1100°С, требуют значительного усилия калибрования, что резко снижает стойкость пресс-инструмента. Низкая прочность этих подшипников после спекания при 800–900°С не является фактором, уменьшающим усилие их калибрования, оно находится в обратно пропорциональной зависимости от пористости подшипника.

Библиографический список

1. Егоров, М. С. Методы получения железных и стальных порошков и конструкционных материалов на их основе / М. С. Егоров, Ж. В. Еремеева, Е. В. Егорова. — Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2021. — 250 с.

2. Либенсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии: учеб. пособие в 2- х томах / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. — Москва : МИСИС, 2002. — Т. 2. — 320 с.

3. Егоров, С. Н. Горячедеформированные порошковые низколегированные конструкционные стали : моногр. / С. Н. Егоров, М. С. Егоров. — Новочеркасск : Волгодонский ин-т (фил.) ЮРГТУ (НПИ), 2008. — 54 с.

4. Каблов, Е. Н. Материалы для высокотеплонагруженных деталей газотурбинных двигателей / Е. Н. Каблов, О. Г. Оспенникова, О. А. Базылева // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. — 2011. — № SP2. — С. 13–19.

5. Sokolov, E. G. The effect of tungsten nanoparticles on the hardness of sintered Sn-Cu-Co-W alloys / E. G. Sokolov, A. V. Ozolin, S. A. Arefieva // Materials Science Forum. — 2020. — Vol. 992. — P. 511–516. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.511

6. Kolodnitskyi, V. M. On the structure formation of diamond-containing composites used in drilling and stone-working tools (A review) / V. M. Kolodnitskyi, O. E. Bagirov // Journal of Superhard Materials. — 2017. — No 39. — P. 1–17. https://doi.org/10.3103/S1063457617010014

7. Multiscale modelling of aluminium-based metal-matrix composites with oxide nanoinclusions / S. Lurie, D. Volkov-Bogorodskiy, Y. Solyaev [et al.] // Computational Materials Science. — 2016. — Vol. 116. — P. 62–73. https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2015.12.034

8. Костиков, В. И. Разработка упрочненных наночастицами композитов для ракетно-космической техники / В. И. Костиков, Л. Е. Агуреев, Ж. В. Еремина // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия. — 2014. — №1. — С. 35–38.

9. Chagnon, Fr. Effect of Ni addition route on static and dynamic properties of Fe-2Cu-1.8Ni-0.5Mo-0.65C and Fe-2Cu-1.8Ni-0.5Mo-0.85C PM steels / Fr. Chagnon // Adv. Powder Metall. Part. Mater. — 2012. — Vol. 2. — P. 10.73–10.84.

10. Vorotilo, S. Nanoengineering of metallic alloys for machining tools: Multiscale computational and in situ TEM investigation of mechanisms / S. Vorotilo, P. Loginov, D. Sidorenko [et al.] // Materials Science and Engineering: A. — 2019. — Vol. 739. — P. 480–490. https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.10.070

11. Исследование процессов термической обработки порошковых сталей, легированных наноразмерными добавками / Ж. В. Еремеева, Н. М. Никитин, Н. П. Коробов, Ю. С. Тер-Ваганянц // Нанотехнологии: наука и производство. — 2016. — № 1 (38). — С. 63–74.

12. Порошковая металлургия в автомобилестроении и других отраслях промышленности / В. Ю. Лопатин, Ж. В. Еремеева, Г. Х. Шарипзянова, Н. М. Ниткин. — Москва : Университет машиностроения, 2014. — 276 с.

13. Износостойкие композиционные материалы / Ю. Г. Гуревич [и др.]. — Екатеринбург : УрО РАН, 2005. — 215 с.

14. Дьячкова, Л. Н. Влияние нанодисперсных добавок на структуру и свойства порошковой углеродистой и высокохромистой стали / Л. Н. Дьячкова, М. М. Дечко // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 3 (35). — С. 5–14.

15. Панов, В. С. Влияние наноразмерных легирующих добавок на структуру и свойства порошковых углеродистых сталей / В. С. Панов, Р. А. Скориков // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 3 (35). — С. 40–45.

16. Егоров, М. С. Пластичность композиционных материалов с определением температурных режимов горячей штамповки, исключающих появление дефектов в структуре материала / М. С. Егоров, Р. В. Егорова // Заготовительные производства в машиностроении. — 2019. — Т. 17, № 2. — С. 66–72.

Поступила в редакцию 25.06.2022
Поступила после рецензирования 15.07.2022
Принята к публикации 15.07.2022

Об авторах:

Егоров Максим Сергеевич, заведующий кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, aquavdonsk@mail.ru

Пустовойт Виктор Николаевич, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, fipm-dstu@mail.ru

Цорданиди Георгий Георгиевич, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, f972@yandex.ru

Егорова Римма Викторовна, доцент кафедры «Кибербезопасность» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, rimmaruminskaya@gmail.com

Заявленный вклад соавторов:

М. С. Егоров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; В. Н. Пустовойт — формирование основной концепции, цели и задач исследования, научное руководство, подготовка текста, формирование выводов; Г. Г. Цорданиди — проведение расчетов, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; Р. В. Егорова — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ







Научная статья
УДК 621. 762. 1
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-68-74

Технологические способы борирования изделий из нержавеющих сплавов работающих в агрессивных условиях

М. С. Егоров, Ю. М. Домбровский, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Долговечность и другие эксплуатационные характеристики деталей машин в значительной мере определяются физико-химическим состоянием тонких поверхностных слоев. Локализация упрочняющих процессов в этих слоях служит значительным резервом повышения ресурса деталей при сокращении затрат на изготовление материалов. Одним из наиболее прогрессивных направлений упрочняющей технологии является нанесение защитных покрытий на рабочие поверхности деталей машин.
В статье исследован процесс спекания прессовок из стали ПХ23Н18 в порошке карбида бора в контейнерах с плавким затвором. Установлено, что спекание в таких контейнерах обеспечивает получение высоких механических характеристик спечённой стали при хорошей воспроизводимости процесса спекания.
Постановка задачи. Для повышения коррозионной стойкости, а также улучшения износостойкости трущихся поверхностей изделий и узлов деталей машин, работающих в агрессивных средах, необходимо выбрать рациональную технологию химико-термической обработки, позволяющей улучшить механические и технологические свойства изделий.
Теоретическая часть. Проанализировано применение различных способов борирования нержавеющей стали, рассмотрены зависимости изменения механических и технологических свойств образцов от различных схем борирования и способов получения образцов.
Выводы. Установлено, что повышение прочности у образцов, подвергнутых борирующему спеканию в автономной газовой среде, произошло благодаря отсутствию окисления и глубинного насыщения бором (объемного упрочнения) посредством парогазовой фазы. Применение контейнерной технологии позволяет не только упростить технологию, но и обеспечить сохранение свойств материала, независимо от наличия в термическом цехе защитной газовой среды.

Ключевые слова: нержавеющая сталь, борирование, окисление, спекание, механические свойства.

Для цитирования: Технологические способы борирования изделий из нержавеющих сплавов работающих в агрессивных условиях / М. С. Егоров, Ю. М. Домбровский, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 68–74. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-68-74

Original article

Technological Methods of Boriding Products from Stainless Alloys Operating in Aggressive Conditions

M. S. Egorov, Yu. M. Dombrovskiy, G. G. Tsordanidi, R. V. Egorova
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The durability and other performance characteristics of machine parts are largely determined by physical and chemical state of thin surface layers. The localization of hardening processes in these layers serves as a significant reserve for increasing the service life of parts while reducing the cost of manufacturing materials. One of the most

progressive directions of strengthening technology is the application of protective coatings on the working surfaces of machine parts.
The article investigates the process of sintering compacts from steel PKh23N18 in boron carbide powder in containers with a fusible seal. It has been established that sintering in such containers provides high mechanical characteristics of sintered steel with good reproducibility of the sintering process.
Problem Statement. To improve corrosion resistance, as well as to improve wear resistance of friction surfaces of products and machine parts operating in aggressive environments, it is necessary to choose a rational technology of chemical-thermal treatment that allows increasing the mechanical and technological properties of products.
Theoretical Part. As a theoretical description, the use of various methods of stainless steel boriding is analyzed, and the dependences of changes in the mechanical and technological properties of samples on various boriding schemes and methods for obtaining samples are considered.
Conclusions. It was established in the work that the increase in strength of samples subjected to boriding sintering in an autonomous gaseous medium occurred due to the absence of oxidation and deep saturation with boron (volumetric strengthening) through the vapor-gas phase. The use of container technology makes it possible not only to simplify the technology, but also to ensure the preservation of material properties, regardless of the presence of a protective gaseous medium in the thermal shop.

Keywords: stainless steel, boriding, oxidation, sintering, mechanical properties.

For citation: Egorov M. S., Dombrovskiy Yu. M., Tsordanidi G. G., Egorova R. V. Technological Methods of Boriding Products from Stainless Alloys Operating in Aggressive Conditions. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 68–74. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-68-74

Введение. Известно, что эффективным способом повышения физико-механических свойств спеченных материалов, а также придания им комплекса требуемых эксплуатационных характеристик является химико-термическая обработка [1–4]. Борирование спеченных материалов позволяет повысить их твердость, износостойкость, а также кислото- и теплостойкость [3–5]. Ранее [6] был исследован процесс борирующего спекания порошков нержавеющих сталей в смеси карбида бора с бурой в защитной среде осушенного водорода. Это позволило создать корозионно- и износостойкую борированную пару трения, предназначенную для работы в агрессивных жидких средах. Однако для внедрения того или иного вида химико-термической обработки в производство важное значение приобретает сохранение надежности (стабильности) и простоты технологии при переходе от лабораторных к производственным условиям.

Целью работы является исследования процесса борирования при различных температурах, проведение микроструктурного анализа поверхностного слоя, а также исследование процесса спекания пористых заготовок их стали ПХ23Н18 совместно с порошком карбида бора в контейнерах с плавким затвором. Необходимо установить зависимости изменения удельного сопротивления, механических свойств от плотности получаемых прессовок и способа борирующего спекания.

Постановка задачи. Для создания износостойких деталей, обладающих высокими технологическими и механическими свойствами, необходимо обеспечить надежную химико-термическую технологию, которая будет внедрена в производство. Для этого необходимо проведение серии экспериментальных работ по определению зависимостей механических и технологических свойств от способа борирования, пористости образцов.

Теоретическая часть. Технология борирующего спекания пористых заготовок в засыпке из смеси карбида бора с бурой для производственных условий сложна, так как извлечение деталей из спекшейся засыпки (за счет плавления и кристаллизации буры) и их очистка от налипшей буры и карбида бора представляет определенные трудности. Кроме того, такую засыпку перед повторным употреблением необходимо размалывать и дошихтовывать свежей смесью. Поэтому необходимо было исследовать возможность замены, спекающейся борирующей засыпки на неспекающуюся.

В работах [7–9] установлено, что при борировании литых сталей в техническом карбиде бора образуется плотный боридный слой, порошок не спекается и может быть многократно использован без каких-либо дополнительных операций.

Однако борирующее спекание в карбиде бора в проточном осушенном водороде с точкой росы –30°C пористых образцов из стали ПХ23Н18 привело к их частичному отслоению.

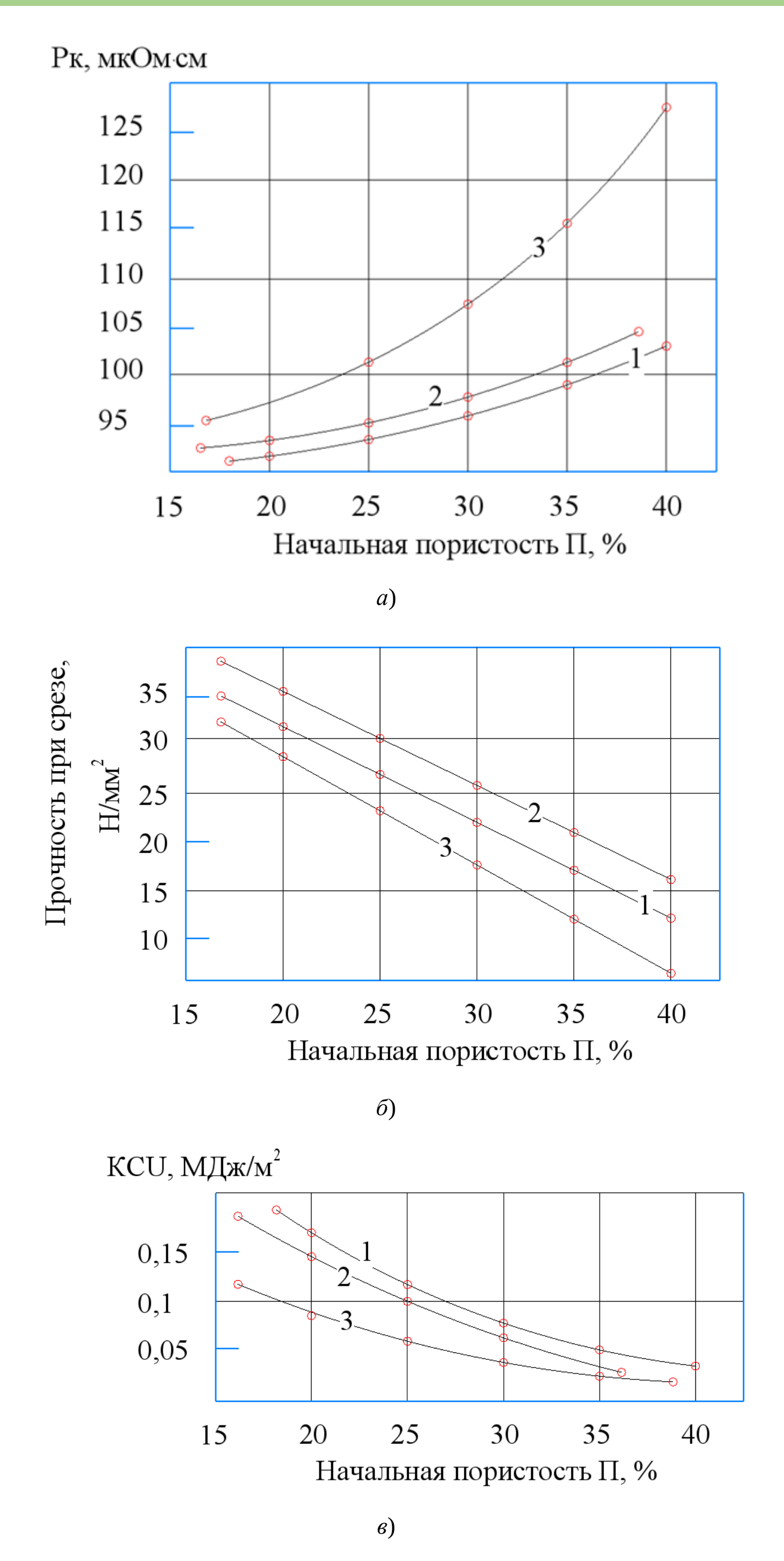


Рис. 1. Зависимость изменения удельного электросопротивления (а), прочности при срезе (б) и ударной вязкости (в) стали ПХ23Н18 от начальной пористости и способа борирования:
1 — образец содержищий буру, спекание в токе водорода с точкой росы –30°С; 2 — образец прокаленный B_4C, спекание в контейнерах с плавким затвором; 3 — образец прокаленный B_4C, спекание в токе водорода с точкой росы –30°С

Об этом свидетельствует пониженная прочность и более высокое электросопротивление образцов, подвергнутых борирующему спеканию в карбиде бора (рис.1 а, кривая 3), по сравнению с образцами прошедшими тот же режим борирующего спекания, но в засыпке, содержащей буру (кривая 1). Поэтому представлялось целесообразным применить для борирующего спекания в карбиде бора контейнеры с плавким затвором, которые, как показано в [10], позволяют спекать нержавеющую сталь без следов окисления. Образцы их нержавеющей стали ПХ23Н18 (размером 5×4×40 мм) разной пористости спекали в атономной газовой среде (в контейнере с плавким затвором) в засыпке из карбида бора.

Исследование глубины боридного слоя, прочности при срезе, ударной вязкости и электросопротивления образцов, подвергнутых борирующему спеканию, показывает (рис. 1 а, кривые 1–3), что эти характеристики, несмотря на идентичную температуру и время выдержки, существенно зависят от совокупности свойств борирующей засыпки и защитной среды.

Исследования режима борирования проводили при различных температурах. Образцы нагревали до температур 1050–1150°С с шагом в 50°С. Время обработки при всех температурах составляло 240 сек, плотность тока — 0,4–0,7 А/см^2.

Анализ полученных данных, показывает, что при нагрев образцов до температуры 1150°С способствовал формированию боридной эвтектики, микротвердость которой составляет 16 Гпа (светлые зоны) и ферритокарбидной основы микротвердость которой равна 5 ГПа (рис. 2). Далее следует переходный науглероженный подслой, за которым формируется исходная феррито-перлитная структура образца.

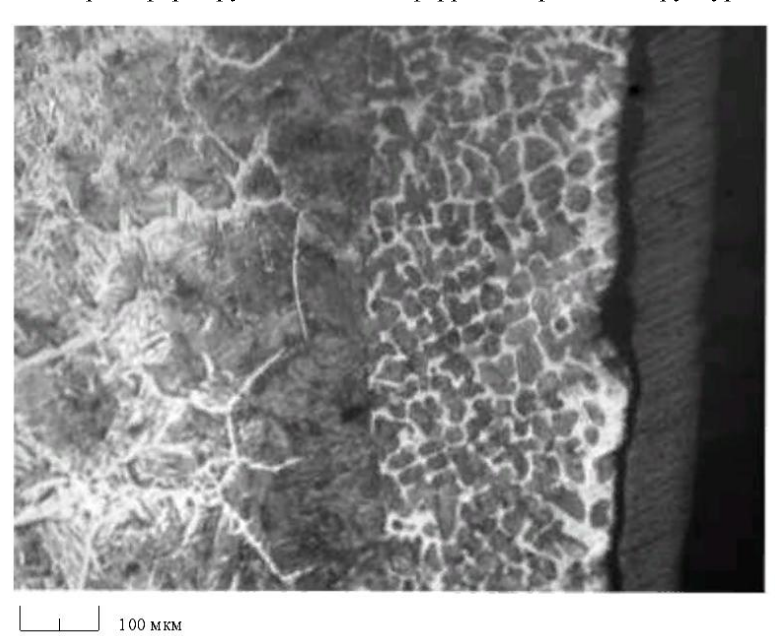


Рис. 2. Боридная эвтектика и исходная феррито-перлитная структура образца после нагрева до температуры 1050°С

Для определения содержания элементов в боридной эвтектике и ферритокарбидной основе слоя был выполнен микрорентгеноспектральный анализ. Изображения борированного слоя, полученные на сканирующем электронном микроскопе, представлено на рис. 3.

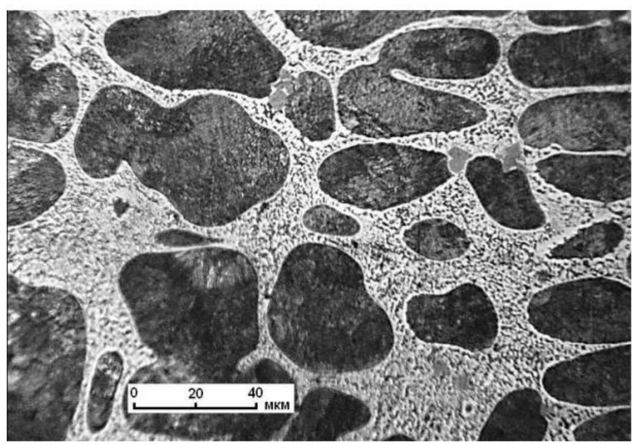


Рис. 3. Микроструктура боридной эвтектики после нагрева до температуры 1050°С, полученная на сканирующем электронном микроскопе

Рентгеновским фазовым анализом (РФА) показано присутствие в диффузионном слое борированного образца боридов Fe_2B и цементита Fe_3C (рис. 4). Кроме того, на дифрактограмме обнаружены рентгеновские дифракционные линии карбида бора $B_{11,5}C_{2,85}$ с соотношением B:C, несколько отличающимся от нормальной стехиометрии карбида B_4C.

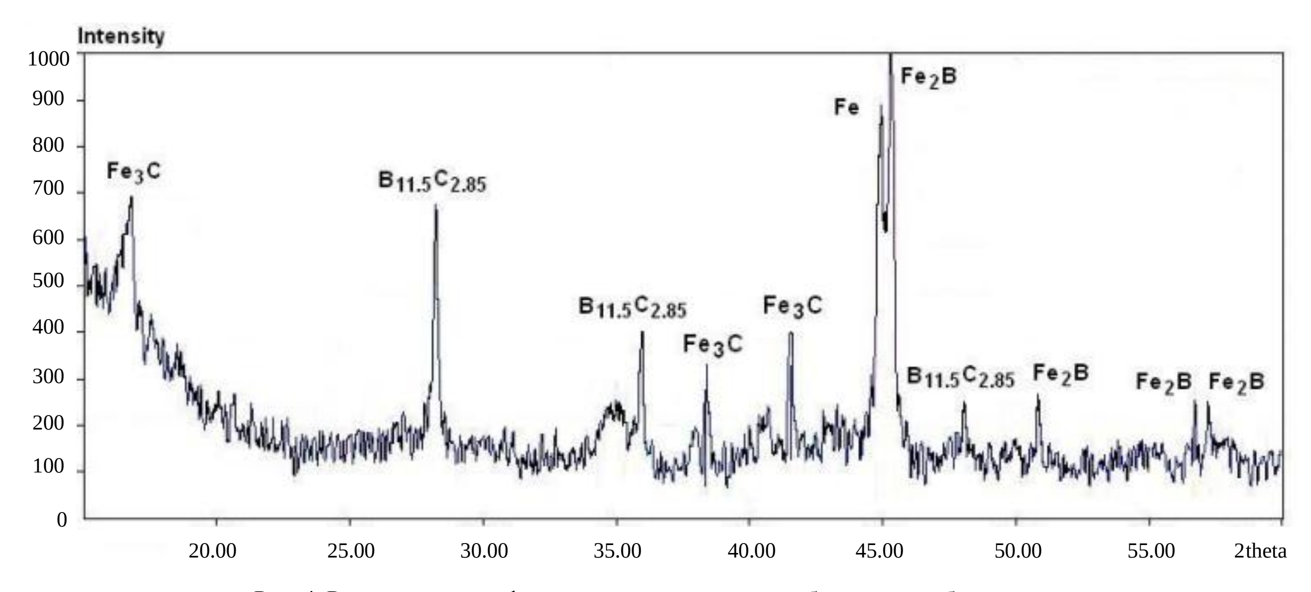


Рис. 4. Рентгеновская дифрактограмма поверхности образца после борирования

Результатами эксперимента показано, что при нагреве образцов до температуры 1250°C боридного слоя выявлено не было (рис. 5). При макроструктурном анализе поверхности образцов были выявлены следующие дефекты в виде проплавления торцов и радиальной поверхности (изменение диаметра составило 0,5 мм в месте нагрева и 0,3 мм на торцах). Данное обстоятельство объясняется тем, что под действием высокой температуры образовавшаяся боридная эвтектика подплавляется и смещается к краю образца (к торцу). При отсутствии боридного слоя микротвердость стального материала составила 3,5 Гпа.

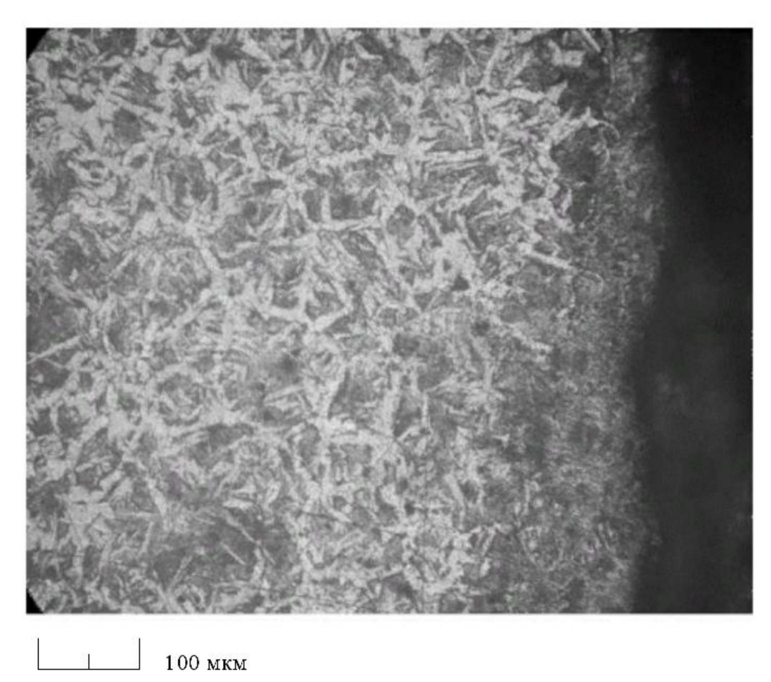


Рис. 5 Микроструктура поверхности стального образца, полученного при температуре 1250°C

Анализ экспериментальных данных показал, что образованные боридные слои на рассматриваемом материале имеют эвтектическую основу. При этом образцы подвергались температурному воздействию в течении 240 секунд. Образцы, нагретые до температуры 1160°C, имеют большую концентрацию бора на границах зерен, вследствие чего образуется больше жидкой фазы, которая способствует формированию более качественного слоя. В диапазоне температур 1050–1150°C на поверхности образцов получается боридный слой с местами боридной эвтектики по зернограничным участкам твердого раствора бора и углерода в Feα. Дальнейший рост температуры приводит к перенасыщению поверхностных границ бором до состояния максимальной эвтектической концентрации, подплавлению боридной эвтектики и ее зернограничному проскальзыванию.

В отличие от борирующего спекания в проточном водороде, спекание в контейнере с плавким затвором в автономной газовой среде, создаваемой разлагающимися при нагреве добавками (например, парафином или гидридом титана), позволяет полностью предохранить пористую нержавеющую сталь от окисления и способствует переносу массы как в результате насыщающей диффузии бора в неспеченный пористый материал по порам и границам зерен внутрь изделия, так и за счет собственно спекания. Наибольшую прочность при срезе имеют образцы, подвергнутые борирующему спеканию в контейнере с плавким затвором в неспекающейся борирующей засыпке (рис.1, кривая 2).

Выводы. Помимо температурного воздействия на значение межчастичного подплавления поверхности материала большое воздействие оказывает и время выдержки образцов при рассматриваемых температурных. При увеличении температуры процесса борирования происходит перенасыщение бором до максимальной эвтектической концентрации и ее зернограничному проскальзыванию. Очевидно, что для получения качественных слоев с участками боридной эвтектики по зернограничным участкам ферритокарбидной матрицы следует производить постоянный контроль температуры процесса и время выдержки материала при заданной температуре.

Полученные результаты испытаний показывают, что повышение прочности у образцов, подвергнутых борирующему спеканию в автономной газовой среде, произошло благодаря отсутствию окисления и глубинного насыщения бором (объемного упрочнения) посредством парогазовой фазы [11, 12]. Применение контейнерной (автономной) технологии для борирующего спекания пористых нержавеющих сталей в неспекающейся борирующей засыпке позволяет не только упростить технологию, но и обеспечить сохранение свойств материала, независимо от наличия в термическом цехе защитной газовой среды.

Библиографический список

1. Крукович, М. Г. Пластичность борированных слоев / М. Г. Крукович, Б. А. Прусаков, И. Г. Сизов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 384 с.

2. Чернов, Я. Б. Борирование сталей в ионных расплавах / Я. Б. Чернов, А. И. Афиногенов, Н. И. Шуров. — Екатеринбург : УрОРАН, 2001. — 223 с.

3. Корнопольцев, В. Н. Получение комплексных боридных покрытий / В. Н. Корнопольцев // Ползуновский вестник. — 2012. — № 1/1. — С. 135–140.

4. Гурьев, А. М. Диффузионное борирование — перспективное направление в поверхностном упрочнении изделий из стали и сплавов / А. М. Гурьев, А. Д. Грешилов, Б. Д. Лыгденов // Ползуновский альманах. — 2010. — № 1. — С. 80–88.

5. Домбровский, Ю. М. Формирование композитного боридного покрытия на стали при микродуговой химико-термической обработке / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Известия высших учебных заведений. — 2015. — № 3. — С. 214–215.

6. Степанов, М. С. Формирование карбидного покрытия при микродуговом хромировании стали / М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2015. — № 1. — С. 35–38.

7. Пустовойт, В. Н. Термодинамический анализ реакций в процессе микродугового хромирования стали / В. Н. Пустовойт, Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Вестник Донского государственного технического университета. — 2014. — № 3 (78). — С. 118–12. https://doi.org/10.12737/5701

8. Способ поверхностного упрочнения металлических изделий : патент 2555320 Рос. Федерация; С23С28/04 В. Н. Пустовойт, Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов. — № 2014101655/02 ; заявл. 21.01.2014 ; опубл. 10.07.2015 ; Бюл. № 19. — 6 с.

9. Stepanov, M. S. Microarc surface alloying of tool steels. / M. S. Stepanov, Yu. M. Dombrovskii, L. V. Davidyan // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 226. — P. 03007. https://doi.org/10.1051/matecconf/201822603007

10. Давидян, Л. В. Структурно-фазовое состояние и свойства стали 20 после микродугового борирования / Л. В. Давидян, М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский // Известия ВолгГТУ. Сер. «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении». — 2018. — № 3 (213). — С. 131–137.

11. Коротких, А. Г. Теплопроводность материалов: учеб. пособие / А. Г. Коротких. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 97 с.

12. Либенсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии: учеб. пособие в 2- х томах / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. — Москва : МИСИС, 2002. — Т. 2. — 320 с.

Поступила в редакцию 10.06.2022
Поступила после рецензирования 27.07.2022
Принята к публикации 27.07.2022

Об авторах:

Егоров Максим Сергеевич, заведующий кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, aquavdonsk@mail.ru

Домбровский Юрий Маркович, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, yurimd@mail.ru

Егорова Римма Викторовна, доцент кафедры «Кибербезопасность» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, rimmaruminskaya@gmail.com

Цорданиди Георгий Георгиевич, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, f972@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

М. С. Егоров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; Ю. М Домбровский — формирование основной концепции, цели и задач исследования, научное руководство, подготовка текста, формирование выводов; Г. Г. Цорданиди — проведение расчетов, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; Р. В. Егорова — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ







Научная статья
УДК 621. 762. 1
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-75-80

Газотермическое напыление покрытий на алюминиевые сплавы деталей комбайна

М. С. Егоров, Е. В. Фоминов
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. На современном этапе развития техники особое значение придается повышению работоспособности и долговечности деталей машин и особенно деталей узлов, работающих при повышенных нагрузках. Проблема повышения надёжности в условиях интенсификации производства, энерго- и ресурсосбережения ставит задачу внедрения в производство новых технологических процессов и применения современных материалов. Зачастую наиболее слабым элементом в системе «материал — рабочая среда», определяющим условия эксплуатации и ресурс механизмов, является поверхность материала. Поэтому важную роль в повышении его износостойкости играют покрытия, предохраняющие детали от разрушительного влияния рабочих сред.

Постановка задачи. Основной задачей исследования является разработка технологических режимов нанесения газотермическим способом покрытий на ленточные шкивы комбайна TORUM 750 компании «Ростсельмаш», а также выбор оптимальных покрытий для увеличения долговечности и износостойкости поверхности шкивов.

Теоретическая часть. В качестве теоретического описания проанализировано применение различных вариантов нанесения покрытий, а также рассмотрена математическая обработка экспериментальных данных по прочности сцепления между алюминиевой поверхностью и материалом покрытия.

Выводы. Проведенные авторами исследования показали, что газотермическое напыление на алюминиевые сплавы ленточных покрытий целесообразно проводить на подогретую подложку (температура предварительного нагрева от 210 °С), в случае напыления покрытий на трущиеся поверхности шкивов следует регулярно охлаждать поверхности.

***Ключевые слова*:** шкивы ленточные, износостойкость, напыление, алюминий, никель, титан.

***Для цитирования*:** Егоров, М. С. Газотермическое напыление покрытий на алюминиевые сплавы деталей комбайна / М. С. Егоров, Е. В. Фоминов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 75–80. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-75-80

Original article

Thermal Spraying of Coatings on Aluminum Alloys of Combine Parts

M. S. Egorov, E. V. Fominov
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. At the present stage of technology development, special importance is given to improving the efficiency and durability of machine parts and especially parts of assemblies operating under increased loads. The problem of increasing reliability in the conditions of intensification of production, energy and resource conservation poses the task of introducing new technological processes and the use of modern materials into production. Often, the weakest element in the "material — working environment" system, which determines the operating conditions and the resource of mechanisms, is the surface of the material. Therefore, an important role in increasing its wear resistance is played by coatings that protect parts from the destructive influence of working environments.

Problem Statement. The main objective of the research is the development of technological modes for applying thermal coatings to the belt pulleys of the TORUM 750 combine harvester by Rostselmash, as well as the selection of optimal coatings to increase the durability and wear resistance of the pulley surface.
Theoretical Part. As a theoretical description, the application of various coating options is analyzed, as well as the mathematical processing of experimental data on the adhesion strength between the aluminum surface and the coating material is considered.
Conclusions. The studies carried out by the authors have shown that it is advisable to conduct thermal spraying on aluminum alloys of belt coatings on a heated substrate (preheating temperature from 210°C). In the case of spraying coatings on the rubbing surfaces of pulleys, the surfaces should be regularly cooled.

Keywords**:** belt pulleys, wear resistance, spraying, aluminum, nickel, titanium.

For citation**:** Egorov M. S., Fominov E. V. Thermal Spraying of Coatings on Aluminum Alloys of Combine Parts. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 75–80. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-75-80

Введение. В промышленности все более широко применяются процессы, основанные на соединении материалов в твердом состоянии, различные виды сварки, а также новые технологии нанесения покрытий. Изучаемый авторами процесс нанесения покрытий газотермическим способом на алюминиевый материал имеет много общего с перечисленными выше.

Для выбора оптимальных технологических параметров, обеспечивающих необходимую прочность сцепления, чрезвычайно важно знать сущность механизма соединения исследуемых пар металлов и иметь четкое представление о взаимосвязи условий соединения разнородных материалов с физическими процессами, протекающими в зоне контакта поверхностей этих металлов. Алюминиевые сплавы имеют целый рад свойств, отличающих их от сталей и чугунов. Они обладают меньшей плотностью и относительно высокой прочностью (2,6–2,910^{3}кг/м^3). Наиболее прочные сплавы служат для изготовления изделий, работающих в нагруженных условиях, при изменении изгибающих и крутящих моментов. Также алюминиевые сплавы используются в конструкциях, работающих в условиях повышенной износостойкости и при температуре до 120° С [1–3].

Указанные характеристики алюминиевых сплавов способствуют их широкому применению в качестве основных конструкционных материалов, например в автомобильной, авиационной, судостроительной промышленности [4]. Известно, что при эксплуатации поверхности детали подвергаются износу и коррозионно-эрозионному воздействию, поэтому так актуальна в настоящее время проблема повышения их износостойкости. Для этой цели следует применять газотермические износостойкие покрытия. Газотермическое напыление покрытий на алюминиевые сплавы, по сравнению с нанесением покрытий на традиционные конструкционные материалы (сталь, чугун), имеет свои особенности, вызванные большим различием коэффициентов термического расширения сплавов и покрытий.

Целью работы является исследование технологических режимов газотермического напыления на шкивы ленточные комбайна TORUM 750 компании «Ростсельмаш», который предназначен для уборки всех традиционных зерновых культур: колосовых, бобовых, масличных, крупяных и пропашных. Необходимо уделить большое внимание прочности сцепления покрытий с поверхностью деталей, на которые они наносятся, так как прочность сцепления материалов с алюминиевыми сплавами в несколько раз ниже, чем с остальными.

Постановка задачи. Для создания износостойких деталей, обладающих высокими технологическими и механическими свойствами, необходимо нанести износостойкие покрытия на рабочие поверхности изделий. В этой связи цель авторов — подобрать такие технологические режимы газотермического напыления и рекомендовать такой материал для покрытия, которые бы обеспечивали лучшее сцепление с алюминиевой основой.

Теоретическая часть. Способность металлических покрытий повышать долговечность и надежность деталей машин и целых агрегатов определяется их адгезией, губчатой поверхностью, сквозной пористостью и толщиной покрытия. Получение надежного сцепления покрытия с подложкой является одним из основных требований, предъявляемых к металлическим покрытиям. В работе [5] приводится информация о том, что медные и бронзовые сплавы являются одними из тех материалов, которые могут служить надежным защитным покрытием для алюминия и его сплавов из-за близких коэффициентов линейного расширения; при этом для обеспечения прочного сцепления температура частиц при взаимодействии с подложкой должна быть порядка 1200° С. Такой температуры достигали, используя напыление с окислением до 10 % Cu_2O, который взаимодействует с алюминиевой подложкой по экзотермической реакции:

$$2/3\ Al_{ж}+Cu_2O_{тв}=1/3\ Al_2O_3+2Cu_{тв.} \quad (1)$$

Предложенная реакция дает в семь раз больше тепла, чем широко распространенный при создании подслоя на Al процесс экзотермической реакции Ni–Al.

Для нанесения покрытий на ленточные шкивы, изготовленные из алюминиевого сплава АК4, были применены порошковые шихты на основе никеля и титана, обладающие при плазменном напылении высокой энтальпией вследствие экзотермических реакций, что значительно повышает адгезионную прочность (рис. 1). Напыление производили с помощью оборудования компании «Ростсельмаш» и на ее территории (рис. 2).



Рис. 1. Шкивы ленточные комбайна TORUM 750 компании «Ростсельмаш»

Для обеспечения сцепления напыленного слоя с основным металлом рекомендуется осуществлять предварительную механическую зачистку поверхностей металлическими щетками и подогрев [7]. Подогрев образцов и деталей перед напылением до 210–230° С проводили в двухкамерной электрической печи с автоматическим регулированием температуры. Нагрев выше 230° С может изменять механические свойства сплава и ведет к увеличению переходного сопротивления контакта.



Рис. 2. Установка для газотермической наплавки компании «Ростсельмаш»

Имеются рекомендации осуществлять термическую активацию подложки для достижения химического взаимодействия с ней покрытия [8]. Однако предварительный подогрев подложки, выполненной из алюминиевого сплава, связан с увеличенным окислением ее поверхности и возможностью оплавления. При этом возникают значительные сжимающие напряжения в системе покрытие — подложка, вызванные резким увеличением разницы коэффициентов линейного термического расширения алюминиевого сплава и покрытия, что приводит иногда к отрицательным результатам. Чтобы снизить остаточные напряжения, которые могут превышать прочность материала покрытия, напыление следует производить на охлаждаемую подложку.

В данной работе авторы исследовали строение и состав оксидных пленок на поверхности сплава АК4, возникающих при нагреве на воздухе в процессе плазменного напыления, а также возможность применения

тлеющего разряда на стадии подготовки поверхностей деталей для финишной обработки покрытий с целью увеличения прочности сцепления последних. Установлено, что фактором, лимитирующим прочность сцепления покрытий с материалом АК4, является образование на поверхности последнего пленки оксида магния. При обработке сплава тлеющим разрядом поверхность модифицируется вследствие появления оксидов кремния, что повышает прочности сцепления покрытий в 1,3–2 раза по сравнению с традиционной струйно-абразивной обработкой. Отмечено, что «модифицированное состояние» обработанной поверхности сохраняется в течение длительного времени после извлечения деталей из вакуумной камеры, так как во всех случаях напыление покрытий производили спустя 3–4 суток после обработки поверхности шкивов тлеющим разрядом. Технологические возможности обработки тлеющим разрядом шкивов ленточных из сплава АК4 предполагают наличие сложного вакуумного оборудования, и поэтому от внедрения данной технологии в рабочий процесс компании «Ростсельмаш» пришлось отказаться.

Для подготовки поверхности ленточного шкива необходимо было провести струйно-абразивную обработку, требующую оптимального режима, который, создавая необходимую шероховатость поверхности, не вызывал бы деформации поверхности изделия [9–10]. Наличие на поверхности остатков металлической дроби отрицательно сказывается на прочности сцепления, а также на эксплуатационных свойствах шкивов, которые могут вызвать истирание клинового ремня. Экспериментальным путем был установлен следующий режим дробеструйной обработки (табл. 1).

Таблица 1

Оптимальный режим дробеструйной обработки

Параметр	Значение
Давление сжатого воздуха, Па	$4 \cdot 10^5$
Расстояние от сопла до поверхности, м	0,1–0,18
Время обработки, с.	20–30
Угол атаки струи дроби к поверхности, град.	90

Шероховатость поверхности при этом составляла 15–20 мкм. Деформация образцов при данном режиме обработки минимальна и соответствует в среднем 40 мкм.

Чтобы удалить мельчайшие частички дроби и другие загрязнения, шкивы промывали в спиртоводной смеси (в пропорция 2:3). С целью снижения влияния разницы коэффициентов линейного термического расширения подложки и покрытия, а также релаксации остаточных напряжений, возникающих в них при напылении, применяли метод регулируемого охлаждения шкивов [10–11]. Для этого в процессе напыления с помощью термопары замеряли температуру разогрева детали. Напыленную деталь помещали в нагретую (в данном случае до 100–120° С) 0муфельную печь. Охлаждение печи производили в различных режимах (быстрое охлаждение с помощью вентилятора, охлаждение с отрытой дверцей), температурный режим нагрева и охлаждения поддерживали регулировочным потенциометром РУ5-01М. После каждого эксперимента по штифтовой методике определяли прочность сцепления покрытий с подложкой. Результаты замеров подвергали математической статистической обработке. Были вычислены средние величины ($X_{ср}$), среднеквадратичные отклонения (S) и доверительные интервалы прочности сцепления. Полученные результаты приведены в табл. 2. Оптимальная скорость снижения температуры охлаждения — 5° С/мин.

Таблица 2

Математическая статистическая обработка экспериментальных данных
по прочности сцепления

Материал покрытия	Материал подложки	$X_{ср}$	S	Доверительный интервал
Никелевый сплав ПГ-Ю10-Н	В95	12,36	1,81	$11,50<X<13,20$
Титановый сплав (ПТС2)	Д16	24,40	3,70	$22,68<X<26,16$
Нержавеющая сталь ПХ18Н9Т	Д16	11,62	1,44	$10,95<X<12,29$
Титановый сплав (ПТС2) и нержавеющая сталь ПХ18Н9Т	Д16	22,39	2,12	$21,39<X<23,38$

Данную методику применяли в ходе разработки газотермических покрытий для рассматриваемых шкивов. Покрытия формировали из порошков титана, никеля и нержавеющей стали российского производства компании «Полема» (г. Тула). Из исследованных порошков по ряду показателей наиболее технологичен ПТС2. Покрытие из этого порошка имеет коэффициент трения в паре с резиновым клиновидным ремнем 0,16–0,18 при удовлетворительной износостойкости. Покрытие из порошков нержавеющей стали ПХ18Н9Т обладают коэффициентом трения 0,12–0,137. Износостойкость у них удовлетворительная. Никелевый сплав показал повышенный коэффициент трения 0,21–0,23, но более зернистую структура покрытия (рис. 3).





Рис. 3. Шкивы ленточные после напыления никелевым сплавом

Нагрев образцов до 210° С снижает разницу температур между материалом подложки и самим покрытием, что приводит к увеличению времени кристаллизации напыляемых частиц, улучшает заполнение и повторяемость геометрии поверхности напыляемым слоем, уменьшает количество пор и дефектов на поверхностях (рис. 4).

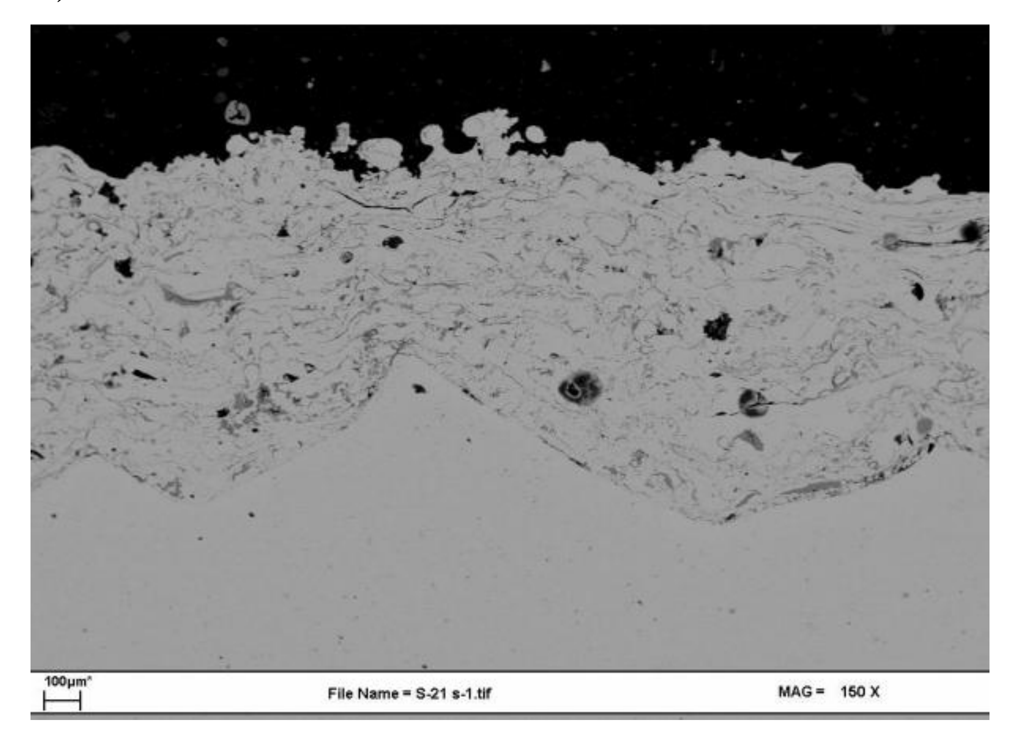


Рис. 4. Структура титанового покрытия на алюминиевую поверхность шкива

Выводы. Проведенные авторами исследования показали, что газотермическое напыление на алюминиевые сплавы целесообразно проводить на подогретую подложку (температура предварительного нагрева от 210° С), в случае же напыления покрытий на трущиеся поверхности шкивов следует применять режим регулярного охлаждения поверхности. После проведения операций упрочнения поверхности шкивы были установлены на комбайны TORUM 750, которые в настоящее время проходят полевые испытания.

Библиографический список

1. Перинский, В. В. Специальные материалы, покрытия и технологии в машиностроении : учеб. пособие / В. В. Перинский, В. Н. Лясников, Г. П. Фетисов. — Саратов : СГТУ им. Ю. А. Гагарина, 2012. — 740 с.

2. Восстановление деталей машин газотермическими способами : учеб. пособие / Д. И. Станчев, А. М. Кадырметов, В. И. Ключников, К. А. Яковлев. — Воронеж : ВГЛТА, 2003. — 83 с.

3. Эффективные технологические методы нанесения покрытий газопламенным напылением / И. Н. Кравченко, В. М. Корнеев, А. А. Коломейченко, И. Е. Пупавцев // Вестник МГАУ им. В. П. Горячкина. — 2015. — № 1. — С. 36–40.

4. Ковтунов, А. И. Интерметаллидные сплавы / А. И. Ковтунов, С. В. Мямин. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. — 77 с.

5. Исследование влияния условий газопламенного напыления на прочность сцепления покрытия с основным металлом / А. И. Ковтунов, Д. А. Семистенов, И. С. Нестеренко, Ю. Ю. Юриков // Сварка и диагностика. — 2018. — № 3. — С. 53–57.

6. Структура и свойства интерметаллидных материалов с нанофазным упрочнением / Ю. Р. Колобов, Е. Н. Каблов, Э. В. Козлов [и др.]. — Москва : Издательский дом МИСиС, 2008. — 328 с.

7. Ковтунов, А. И. Исследования процессов газопламенного напыления алюминия на сталь / А. И. Ковтунов, И. С. Нестеренко // Современные концепции развития науки : мат-ы междунар. науч.-практ. конф. — Пермь, 2018. — С. 58–63.

8. Способ подготовки поверхности изделия под напыление : патент 2004350 Рос. Федерация : B05D 3/12 / С. В. Храменков, В. П. Кычин, В. И. Бабинец, В. П. Фомушкин ; заявитель и патентообладатель Орловский государственный аграрный университет. — № 2003119672/12 ; заявл. 30.06.2003 ; опубл. 10.10.2004. — 4 с.

9. Working hypothesis for origin of anisotropic sintering shrinkage caused by prior uniaxial cold compaction / A. Molinari, C. Menapace, E. Torresani [et al.] // Powder Metallurgy. — 2013. — Vol. 56, iss. 3. — P. 189–195.

10. Упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей безвольфрамовыми твердыми сплавами и карбидсодержащими сталями / В. А. Маслюк, Г. А. Баглюк, С. Г. Напара-Волгина, Р. В. Яковенко // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2007. — № 1. — С 42–47.

11. Лясников, В. Н. Плазменное напыление : монография / В. Н. Лясников, А. В. Лясникова, О. А. Дударева. — Саратов : СГТУ им. Ю. А. Гагарина, 2016. — 620 с.

Поступила в редакцию 10.06.2022
Поступила после рецензирования 19.07.2022
Принята к публикации 19.07.2022

Об авторах:

Егоров Максим Сергеевич, заведующий кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, aquavdonsk@mail.ru

Фоминов Евгений Валерьевич, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, f972@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

М. С. Егоров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; Е. В. Фоминов — проведение расчетов, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.